



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ZÁVITŮ V TENKOSTĚNNÝCH DÍLECH

PRODUCTION OF THREADS IN THIN-WALLED PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Václavek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Petr Václavek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba závitů v tenkostěnných dílech

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika a možnosti výroby závitů do tenkostěnných materiálů (plechy, profily uzavřené i otevřené, kompozity, apod.).

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika tenkostěnných výrobků.
- Technologie výroby závitů.
- Ukázková situace na vytipovaném výrobku.
- Posouzení technologických možností.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

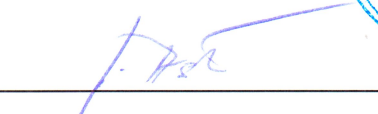
Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

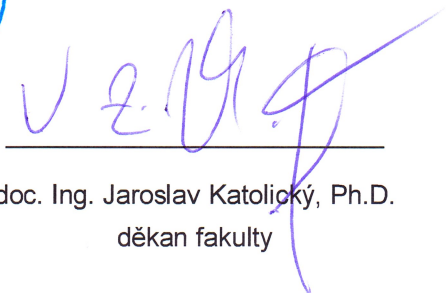
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce je představení a porovnání technologií používaných při výrobě závitů v tenkostěnných materiálech. Je zahrnuta charakteristika často používaných typů těchto materiálů a jejich vlastností, které mohou ovlivňovat proces výroby závitů v nich. Následuje popis jednotlivých technologií používaných při výrobě závitů přímo do tenkých stěn, tváření různých typů lemů a upevňování matic. Důraz je kladen zejména na co nejkomplexnější rozbor problematiky navařování, nýtování a lisování matic. Posouzen je vliv jednotlivých metod na technologičnost konstrukce výsledných výrobků.

Klíčová slova

navařovací matice, nýtovací matice, lisovací matice, termální vrtání, závitník

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to describe and compare technologies used in a production of threads in thin-walled parts. It includes descriptions of commonly used materials for these parts and their qualities, that may have an influence on the thread production. The following are the descriptions of different methods of manufacturing threads directly into thin walls, forming different types of bushings and anchoring threaded fasteners. Special focus is on a comprehensive analysis of processes of welding, riveting and pressing nuts. The technological and economic suitability of each solution is then compared.

Keywords

weld nut, rivet nut, clinch nut, thermal drilling, tap

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁCLAVEK, Petr. *Výroba závitů v tenkostěnných dílech*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/113205>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 56 s. 4 přílohy. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba závitů v tenkostěnných dílech vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Petr Václavek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

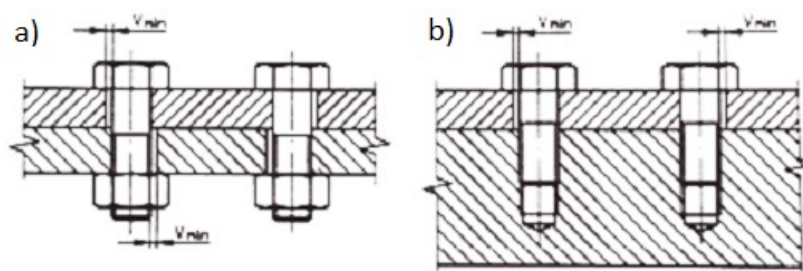
ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 CHARAKTERISTIKA TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ	10
1.1 Výrobky z plechu	10
1.2 Trubky a tenkostěnné profily	11
1.3 Výrobky z nekovových materiálů	12
1.3.1 Plast	12
1.3.2 Kompozity	13
2 TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁVITŮ	15
2.1 Třískové obrábění	15
2.1.1 Frézování závitů	15
2.1.2 Řezání závitů závitníkem	16
2.2 Tváření závitů tvářecím závitníkem	17
2.3 Výroba závitů do lemovaných děr	18
2.3.1 Lemování tvářením za studena	19
2.3.2 Lemování termálním vrtáním	20
2.4 Navařovací matice	22
2.5 Nýtovací matice	24
2.6 Lisovací matice	27
2.7 Nasouvací a nacvakávací matice	31
2.8 Závitové prvky do plastů a kompozitů	32
2.9 Prvky s vnějším závitem	33
2.10 Samořezné šrouby	33
3 UKÁZKOVÉ SITUACE NA VYTIPOVANÝCH VÝROBCÍCH	35
3.1 Plechové kryty	35
3.2 Rám jízdního kola	36
3.3 Objímky na trubky a okapové svody	37
3.4 Nábytek	38
4 POSOUZENÍ TECHNOLOGICKÝCH MOŽNOSTÍ	40
4.1 Třískové obrábění a tváření závitů	40
4.2 Porovnání ostatních technologií	40
4.2.1 Obecné posouzení situace	40

4.2.2 Parametry materiálu	42
4.2.3 Posouzení mechanických vlastností.....	44
4.2.4 Ekonomické hledisko.....	46
5 DISKUZE	48
ZÁVĚR	49
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	50
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	55
SEZNAM PŘÍLOH.....	56

ÚVOD

S tenkostěnnými výrobky se lze setkat v mnoha průmyslových odvětvích. Z toho plyne také velká variabilita vlastností, které jsou požadované pro konkrétní použití. Proto se tyto díly mohou lišit druhem polotovaru, použitým materiálem, technologií zpracování či povrchovou úpravou. Různorodosti těchto vlastností je obvykle třeba se přizpůsobit při výrobě závitů do konkrétního dílu.

Podstatným parametrem těchto dílů je kromě materiálových vlastností především tloušťka stěny. Pokud je na výrobcích zapotřebí realizovat šroubový spoj se zašroubovaným šroubem, a tím pádem vytvořit závit na jednom z dílů, právě malá tloušťka stěny může přinášet různé komplikace. Často nastávají situace, kdy do materiálu nelze standardně používanými metodami vyrobit závit o požadovaném počtu stoupání a výsledná délka zašroubování je nedostatečná. Dalším problémem je zvláště u některých materiálů jejich nízká odolnost vůči vnějšímu zatížení. Pro tyto případy je třeba volit technologie speciálně vyvinuté pro výrobu závitů v tenkých stěnách. Tato bakalářská práce nabízí jejich charakteristiky a také posouzení jejich výhod a nevýhod pro použití v konkrétních situacích.



Obr. 1 Typy šroubových spojů: a) šroubem a maticí, b) zašroubovaným šroubem [1].

Důvodů pro výrobu závitu přímo na tenkém materiálu a použití spojení zašroubovaným šroubem k realizaci rozebíratelného spoje na místo například spojení šroubem a maticí (obr. 1), je několik. Typicky to bývá situace, kdy je při montáži umožněn přístup pouze z jedné strany výrobku. Dále to může být zjednodušení a zrychlení výroby, snížení počtu dílů, případně estetické hledisko.

1 CHARAKTERISTIKA TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ

1.1 Výrobky z plechu

Klasickým příkladem tenkostěnných dílů jsou výrobky z plechu. Plechové polotovary jsou zpracovávány různými způsoby. Nejčastěji se jedná o stříhání či pálení laserem. Následovat mohou různé druhy tváření a nakonec spojování jednotlivých součástí do sestav, např. různými metodami svařování. Vhodnost pro konkrétní druh zpracování je ovlivněna technologickými vlastnostmi daného materiálu. Tyto vlastnosti jsou ovlivňovány zejména chemickým složením, mikrostrukturou a texturou materiálu [2].

Pro ocelové plechy jsou nejčastěji užívány oceli třídy 11, případně třídy 17 (korozi-vzdorné oceli). Podle technologie výroby se ocelové plechy dělí na válcované za studena a válcované za tepla. Rozdíl mezi základními druhy plechových polotovarů je patrný pouhým pohledem (obr. 2). Na trhu jsou také různá tvarová provedení plechů, například trapézové nebo vlnité. Případně se vyrábí plechy se vzory na povrchu (obr. 3).



Obr. 2 Ocelové plechy zleva: válcovaný za tepla (S235), korozi-vzdorný (17 240), válcovaný za studena (DC01).

Příklady obvykle používaných ocelí (více příloha 1):

- ČSN 11 375
 - ekvivalentní značení: S235JR, 1.0038,
 - konstrukční nelegovaná ocel, válcovaná za tepla, dobře svařitelná.
- ČSN 11 321
 - ekvivalentní značení: DC01, 1.0330,
 - hlubokotažná ocel, válcovaná za studena,
 - lepší tvárnost a kvalita povrchu oproti plechům válcovaným za tepla.
- ČSN 17 240
 - ekvivalentní značení: X5CrNi18-10, 1.4301, AISI 304, A2,
 - austenitická chromniklová korozi-vzdorná ocel,
 - nemagnetická, leštitelná.



Obr. 3 Plechy se vzory a) listkový plech („slza“), b) žebrovaný plech.

Kromě ocelí se používají také plechy ze slitin neželezných kovů, jako jsou například hliník, měď, mosaz nebo bronz (příloha 1).

Plechové polotovary jsou z hutí dodávány ve formě obdélníkových tabulí v několika standardizovaných rozměrových variantách. Plechové výrobky lze rozdělit podle technologie dělení materiálu, kterou jsou z tabule získávány. Jedná se nejčastěji o stříhání nebo tepelné dělení plazmovým obloukem, či laserovým paprskem na CNC strojích. Řezání kyslíko-acetylenovým plamenem neposkytuje vysokou kvalitu řezu a je vhodné zejména pro plechy o tloušťce nad 50 mm. Další alternativou je řezání vodním paprskem.

Podle dalšího zpracování lze výrobky rozdělit na:

- **Výlisky**

Plechové výrobky vzniklé plošným tvářením na lisu jsou označovány jako výlisky. Při jejich výrobě dochází působením mechanických sil k trvalé změně tvaru materiálu bez odběru třísek. Plošné tváření zahrnuje stříhání, tažení, tlačení a ohýbání, do kterého kromě prostého ohýbání spadá také ohraňování, falcování, zakružování či lemování [3].

- **Spojované plechy**

Jednotlivé součásti mohou být po dokončení tvářecích operací spojované do sestav. Kromě zkoumaného spojování šroubovými spoji jsou typickým příkladem takovýchto sestav svařky. Podle svařovaných materiálů a jejich parametrů je třeba zvolit vhodnou metodu svařování. Příklady často používaných metod jsou obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním či inertním plynu a jejich různé modifikace, jako např. CMT nebo v kombinaci s laserovým svařováním, případně různé druhy odporového svařování (kapitola 2.4).

Dále je obvyklé užití klinčování (spojení lisováním a plastickou deformací bez přídavných spojovacích prvků), různých druhů nýtů nebo drážkování, případně spojují lepených či pájených.

Výrobky z plechů bývají často za účelem ochrany proti korozi nebo kvůli požadovaným funkčním a estetickým vlastnostem natírány nebo povrchově upravovány. Časté jsou různé druhy pokovení, např. pozinkování, pocínování, pohliníkování nebo pochromování, případně jiné úpravy, jako fosfátování, smaltování, lakování či povlakování různými druhy plastů (kapitola 1.3.1) [2].

1.2 Trubky a tenkostěnné profily

Další širokou skupinou tenkostěnných materiálů jsou profily. Vyrábějí se profilováním ocelových pásů a následujícím svařením v případě uzavřených profilů, nebo

profilováním či tažením trubek za studena. Rozdělit je lze na profily otevřené a uzavřené. Otevřené profily bývají podle tvaru průřezu označovány písmeny, například „U“ profily, „L“ profily, „C“ profily... Uzavřené profily jsou nejčastěji buď trubky (průřez je mezikružní), nebo duté profily čtvercové a obdélníkové, také označované jako „jekly“. Vyrábí se však také uzavřené profily mnoha dalších tvarů (obr. 4). Trubky se podle technologie výroby dělí na švové a bezešvé. Švové trubky mají, jak jejich název napovídá, na svém vnitřním povrchu nejčastěji podélný šev. Ten vzniká v důsledku svařování profilovaného ocelového pásu. Bezešvé trubky jsou vyráběny válcováním, protahováním, tažením, nebo dopředným vytlačováním [4].



Obr. 4 Příklady uzavřených profilů.

Profily mají využití ve výrobě různých konstrukcí, nebo v případě trubek pro rozvod kapalin a plynů. Pro různé aplikace jsou vyráběny z rozličných materiálů. Stejně jako u plechů je zde časté užití nelegovaných a legovaných ocelí, mědi, mosazi nebo hliníkových a hořčíkových slitin. Dále se lze také setkat s trubkami z nekovových materiálů, jako jsou různé druhy termoplastů, nebo vláknových kompozitů.

Stejně jako pro plechy také pro profilové polotovary platí, že před dalším zpracováním je třeba materiál nejprve rozdělit na požadované rozměry a tvary. Pro dělení profilů se používají pásové, kotoučové, přímočaré a další druhy pil. Stříhání profilů je komplikovanější než v případě plechů. Při stříhání otevřených profilů je třeba použít takovou geometrii nástrojů, aby nedošlo k situaci, kdy je stěna stříhaného materiálu kolmá na střížník. Různé technologie se uplatňují také při stříhání tenkostěnných trubek [5]. Další možností dělení profilů je řezání laserem nebo plazmou na CNC strojích. Pro dělení plastových a měděných trubek lze použít také ruční řezáky a nůžky.

Další zpracování profilů může zahrnovat tvářecí operace, jako ohýbání nebo zakružování, a následné spojování do sestav svařováním, pájením nebo právě šroubováním.

1.3 Výrobky z nekovových materiálů

1.3.1 Plast

Nezanedbatelný podíl tenkostěnných výrobků tvoří také díly z nekovových materiálů. Typickým příkladem takového materiálu je plast. Ten má díky své nízké hmotnosti, relativně snadnému zpracování, korozní odolnosti a dalším pozitivním vlastnostem velmi široké využití. Zároveň však jeho použití přináší i negativa jako ekologické zatížení [6]. Dále jsou to také jeho špatné mechanické vlastnosti, které ovlivňují problematiku výroby závitů v tomto materiálu.

Existují tisíce druhů plastů. Většinu světové produkce (více než 70 %) plastových dílů ale tvoří pouze několik materiálů [6, 7]. Tyto nejpoužívanější druhy se řadí mezi termoplasty, což jsou polymerní materiály, které po zahřátí na určitou teplotu přejdou do tvárného stavu, kde je lze snadno zpracovávat. Po ochlazení se vrátí do původního stavu. Tento proces je opakovatelný, protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury [6].

Kromě polyvinylchloridu (PVC) a polypropylenu (PP), ze kterých se vyrábí již zmíněné plastové trubky, patří mezi často používané termoplasty také různé styrenové plasty, jako ABS (příloha 2) užívaný například v automobilovém průmyslu k výrobě přístrojových desek. Dále také akrylátové plasty, jako PMMA, známý jako plexisklo, nebo polykarbonáty (PC), což jsou průhledné materiály. Výčet příkladů uzavírají polyoxymetylen (POM) a polyamidy (PA), ze kterých se vyrábí různé kryty strojů nebo motorů. To jsou pouze některé termoplasty, s jejichž využitím se lze u tenkostěnných výrobků setkat [7].

PVC nebo PE fólie se používají k povlakování ocelových plechů (kapitola 1.1) [2].

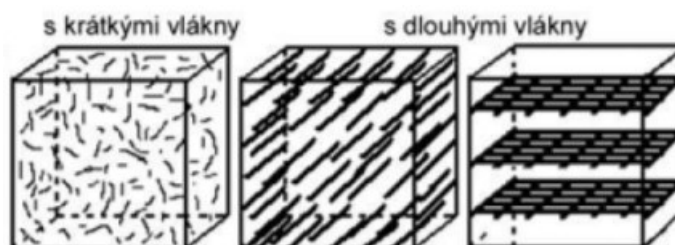
1.3.2 Kompozity

Kompozity jsou obecně materiály obsahující alespoň dvě složky, neboli fáze, o rozdílných vlastnostech. Vlastnosti výsledného materiálu jsou pak jiné než vlastnosti jeho jednotlivých fází. Ve dvousložkových kompozitech tvoří jedna fáze pojivo, neboli matrici, a druhá fáze výztuž. Kompozity lze rozdělit například podle materiálů jednotlivých složek nebo podle použitého druhu výztuže [8, 9]:

- **Vláknové kompozity**

Časté je použití výztuže ve formě skelných nebo uhlíkových vláken, v tom případě se jedná o vláknové kompozity. Matricí může být termoplast nebo epoxidová pryskyřice. Další materiály používané pro výrobu vláknových kompozitů jsou kovové slitiny, keramika nebo různé modifikace uhlíku pro matrice, vlákna mohou být dále vyrobena například z aramidu nebo keramiky [9, 10].

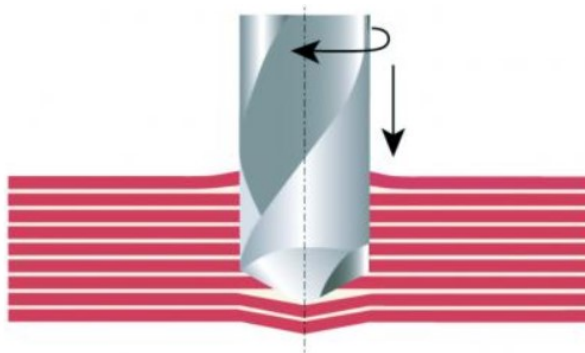
Dlouhá kontinuální vlákna mohou být před vložením do matrice uspořádána buď jednosměrně, kdy vlákna prochází rovnoběžně celou délkou materiálu, náhodně do podoby netkaných textilií, nebo uspořádaně propletená do podoby tkanin, či splétaných textilií. Další možností je použití krátkých diskontinuálních vláken buď náhodně, nebo jednosměrně orientovaných (obr. 5) [9, 10, 11].



Obr. 5 Příklady uspořádání výztuže vláknových kompozitů [10].

Materiály vzniklé slepením dvou nebo více vrstev vláknových kompozitů se nazývají lamináty. Vlákna jednotlivých vrstev neboli lamin mohou mít různou, nebo stejnou vzájemnou orientaci [12].

K přednostem vláknových kompozitů patří obecně nízká hmotnost, dobré pevnostní charakteristiky, korozivzdornost a relativní volitelnost vlastností díky možnosti kombinovat různé typy a materiály výztuží a matric. Problémy však způsobuje jejich nehomogenita a anizotropie (různé vlastnosti v různých místech a směrech materiálu) [13]. I tyto vlastnosti mohou být využity v aplikacích, kdy je díl namáhaný jen v jednom směru [12]. Komplikované je ale obrábění těchto materiálů. Zásadní problém představuje delaminace (obr. 6), což je odlupování jednotlivých vrstev laminátových kompozitů, například při vrtání [13]. To ovlivňuje také problematiku výroby závitů v těchto materiálech.

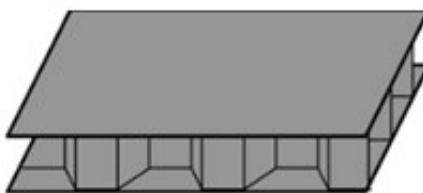


Obr. 6 Princip delaminace [13].

Tyto materiály se hojně využívají v mnoha oblastech lidské činnosti. Příkladem může být letectví. Z kompozitů se vyrábí ultralehké letouny, ale také v případě některých typů dopravních letadel mohou kompozitní materiály tvořit až 50 % celkové hmotnosti letadla [10]. Některá další typická použití jsou trupy lodí, nádrže, sedačky v tramvajích a na sportovních stadionech, rámy kol a jiné sportovní vybavení, karoserie zahradních sekaček, ale i karbonové karoserie automobilů, sklolaminátové desky tištěných spojů a mnoho dalších.

- **Sendvičové kompozity**

Speciálním druhem laminátu jsou sendvičové kompozity neboli sendviče. Skládají se ze dvou vnějších vrstev a jedné vrstvy uložené mezi nimi. Mezivrstva se nazývá jádro. Vnější vrstvy jsou vyrobeny z tenkého a tuhého materiálu, například vláknových laminátových kompozitů, či hliníkového plechu. Jádro má často speciální voštinovou strukturu, složenou ze šestihranných buněk podobně jako u včelích plástů (obr. 7). Tato struktura se používá k dosažení minimální spotřeby použitého materiálu při zachování dobrých pevnostních charakteristik. Pro aplikace s menším zatížením jsou voštiny vyráběny například z papíru, nebo polypropylenu. Voštiny z hliníku nebo vláknových kompozitů se pak používají pro náročnější aplikace [14, 15].



Obr. 7 Konstrukce sendvičového kompozitu s voštinovým jádrem [14].

Typické je použití těchto kompozitů v leteckém nebo automobilovém průmyslu, k výrobě trupů lodí či částí nábytku.

2 TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁVITŮ

2.1 Třískové obrábění

Jedním z nejrozšířenějších způsobů výroby závitů je třískové obrábění. Rozlišuje se několik způsobů třískového obrábění závitů. Základní rozdělení je na výrobu závitů vnějších a vnitřních. Tato práce řeší problematiku výroby závitů do tenkých stěn. Jedná se tedy obvykle o průchozí závitové díry malých rozměrů. Výrobou vnějších závitů se proto nemá smysl dále zabývat. Vnitřní závity lze frézovat nebo řezat závitníky. Se soustružením se při výrobě závitů na zkoumaných součástech nelze setkat, především proto, že se ve většině případů jedná o nerotační součásti. Po řezání či frézování mohou následovat dokončovací operace.

2.1.1 Frézování závitů

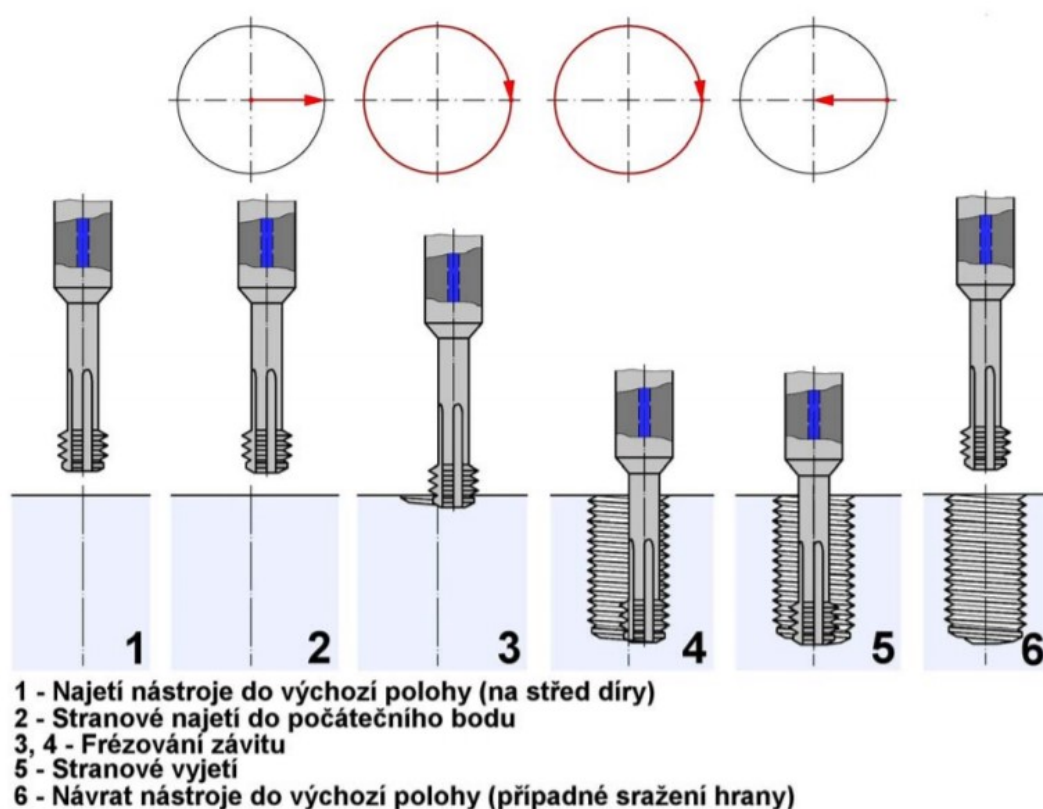
Frézování závitů je jednou z nejběžnějších metod jejich výroby třískovým obráběním. Fréza vykonává rotační pohyb kolem vlastní osy a zároveň rotační pohyb kolem osy vyráběného závitu. Jedná se tedy o planetový pohyb. Zároveň je vykonáván vedlejší řezný pohyb obrobku vůči nástroji, a to o délce jednoho stoupání za jednu otáčku obrobku. Pro frézování závitů je tedy zapotřebí stroj, který je schopen pohybu v osách X, Y i Z, a tím umožňuje programování pomocí kruhové interpolace (obr. 8). [16, 17].

Základní výhodou frézování oproti soustružení je možnost obrábět i nesymetrické nebo velké součásti, které se do soustruhu špatně upínají. Další výhodou frézování představuje přerušovaný řez, který zajišťuje lepší kontrolu nad odvodem třísek u špatně obrobitelných materiálů. Při obrábění hlubších úzkých závitů se při frézování může uplatnit také možnost delšího vyložení nástroje díky nižším hodnotám působících řezných sil [17].

Pro výrobu malých vnitřních závitů se obvykle používají monolitní stopkové závitové frézy o malém průměru z nepovlakovaných nebo povlakovaných slinutých karbidů. Vyrábí se v několika různých provedeních [16, 18].

Nejjednodušší variantou jsou monolitní stopkové frézy se zahlubovací fází pouze boční hranou stopky [18]. Obecně platí, že průměr frézy by neměl být větší, než $\frac{2}{3}$ průměru obráběného závitu [16]. Tyto frézy mají široké využití. Lze jimi frézovat všechny běžné typy válcových závitů. Jsou mnohostranně použitelné také, co se druhu obráběného materiálu týče. Výhodou závitových fréz je to, že obvykle nevyžadují přívod procesní kapaliny. Pro obrábění v situacích, kde je použití procesní kapaliny výhodné, jsou však vyráběny také v provedení s jejím vnitřním přívodem. [17].

Dalším typem jsou vrtací závitové frézy. Jsou specifické tím, že umožňují kombinovat boční i čelní zahlubování. Díky tomu je možné jimi provádět tři obráběcí operace (obr. 8). Vrtání a frézování závitu probíhá zároveň a nakonec je sražena hrana díry. Vše probíhá během jednoho pracovního cyklu a není tedy ztracen čas výměnami nástrojů [16, 19].



Obr. 8 Schéma výroby závitu vrtací závitovou frézou [16].

2.1.2 Řezání závitů závitníkem

Řezání vnitřních závitů je proces, při kterém je hlavním rotačním pohybem nástroje vytvořen požadovaný závit do válcové díry. Vedlejší posuvný pohyb ve směru osy je vykonáván v souladu se stoupáním vyráběného závitu. Nástroj se nazývá závitník. Jedná se o šroub s kuželovým řezným náběhem a vyfrézovanými drážkami pro odvod třísek a přívod procesní kapaliny, na nichž se nachází břity. Závitníky jsou vyráběny z povlakovaných nebo nepovlakovaných rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů. Rozlišují se závitníky pro řezání ruční a strojní [16].

Pro ruční řezání závitů se obvykle používají sady tří závitníků (obr. 9a). První z nich, označený jedním proužkem, je předřezávací. Z materiálu odebere asi 60 %. Druhý je označen dvěma proužky a odebírá většinu zbylého přebytečného materiálu, asi 30 %. Poslední závitník, který není označen žádným proužkem, závit dořeže a kalibruje. Na konci závitníků se nachází čtyřhran, jímž se nástroj upíná do vratidla, které umožňuje práci se závitníkem [16].

Strojní závitníky (obr. 9b) jsou upínány do vrtaček, případně CNC obráběcích strojů. To musí být většinou realizováno přes závitovací hlavici vybavenou kluznou spojkou, která zamezuje přenosu vysokého krouticího momentu, a mechanismy k vyrovnávání mírných radiálních, ale především axiálních úchylek vznikajících rozdílem v rychlostech osového posuvu stroje a vedlejšího posuvného pohybu závitníku. Tím je snižováno riziko zlomení nástroje. Některé hlavice umožňují zároveň automatickou reverzaci otáček závitníku v dolní úvratí osového posuvu. Nepoužívají se závitové sady, ale stačí jeden nástroj, který závit vyřeže během jedné operace [16].



Obr. 9 Řezací závitníky: a) ruční sadové, b) strojní [16].

Závitníky lze rozdělit také podle typu řezného kužele na vrcholu nástroje a typu vyfrézovaných drážek pro odvod třísek. Pokud při obrábění vznikají krátké třísky, lze ve většině situací použít závitník s přímými drážkami (obr. 9b). Pro řezání závitů v průchozích dírách, což je u tenkostěnných dílů typická situace, je výhodné použít závitník s dlouhým řezným kuželem a se šroubovitým podbroušením na vrcholu nástroje. To zajišťuje vytlačování třísek dopředu ven z díry a umožňuje změkčení šroubovitě drážky na zbytku nástroje. Mělká drážka pak může plnit pouze funkci přívodu procesní kapaliny. Tím je zvětšen průřez závitníku a jeho odolnost při namáhání krutem [20].

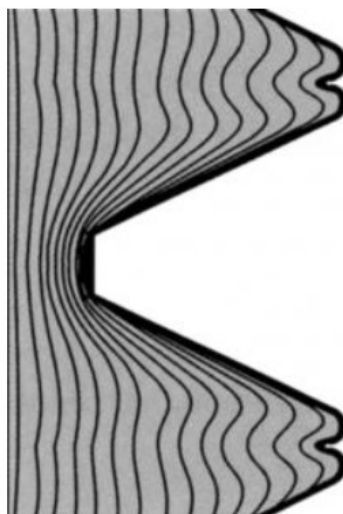
Nevýhodou závitníků oproti frézám je nutnost mít k dispozici široký nástrojový inventář, zejména pak při ručním řezání závitů. Pro různé průměry děr jsou třeba zvláštní závitníky. Při řezání závitů závitníky působí větší řezné síly. To může být důvodem pro upřednostnění frézování právě při obrábění tenkostěnných materiálů [17].

2.2 Tváření závitů tvářecím závitníkem

V současnosti je stále častěji využívanou alternativou k řezání závitů beztržkový způsob jejich výroby. Vnitřní závit jsou touto metodou vyráběny tvářecími závitníky. Tyto závitníky mají sice vyšší pořizovací cenu než ty řezné, ale oproti nim poskytují mnoho výhod. Hlavní výhodou je to, že závit vyrobené tvářením jsou kvalitnější. Mají vyšší pevnost v důsledku zhušťování materiálu tvářecím procesem, při kterém nejsou, na rozdíl od třískového obrábění, porušována materiálová vlákna (obr. 10). Kromě toho nevznikají žádné třísky, nemusí se tedy řešit jejich plynulý odvod ani zpracování [16, 21].

Při tváření závitů je zapotřebí vyšších řezných rychlostí než při řezání. To je výhodné z hlediska zkrácení výrobních časů. Zároveň však tato technologie, na rozdíl od řezacích závitníků, neumožňuje výrobu závitů ručním šroubováním nebo použitím obyčejné vrtačky. To je dáno také nutností vyvinout mnohem vyšší krouticí moment [22]. Upnutí do vřetene je opět u většiny strojů nutné realizovat pomocí závitovací hlavice.

Samotný proces tváření závitu probíhá tak, že materiál, který je vytlačen vmáčknutím zoubků závitníku, mezi tyto zoubky následně zatéká. Výsledný závit se vyznačuje vysokou kvalitou povrchu. Nedotvářené vrcholy závitového profilu (obr. 10) nemají na pevnost závitu vliv [21].



Obr. 10 Znázornění struktury vláken tvářeného závitu [23].

Z toho plyne nutnost zvolit správně průměr předvrtané díry. Je zřejmé, že na rozdíl od předvrtané díry pro závity řezané nebude její průměr roven požadovanému malému průměru závitu, ale jeho hodnota bude ležet mezi hodnotami velkého a malého průměru matice. Ideální velikost průměru předvrtané díry je závislá i na vlastnostech obráběného materiálu či použitém nástroji. Potřebný průměr předvrtané díry bývá obvykle uváděn výrobcem přímo na stopce konkrétního nástroje, v ostatních případech platí pro jeho výpočet vztah (2.1) [22]. Pokud je předvrtaná díra menší, než je potřeba, materiál nemá kam odtéct, což negativně ovlivňuje životnost závitníku. Pokud je její průměr naopak větší, než je požadováno, profil závitu nebude dostatečně vysoký [21, 22].

$$D = D_{jmen} - (0,5 * P) + 0,05 \quad (2.1)$$

Kde:

D – potřebný průměr předvrtané díry pro tvářený závit [mm],

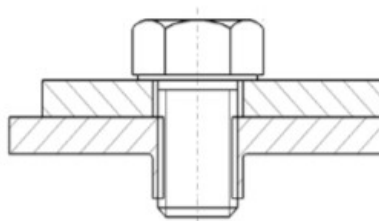
D_{jmen} – jmenovitý průměr závitu [mm],

P – stoupání závitu [mm].

Důležitým faktorem procesu výroby závitů řezacími i tvářecími závitníky je mazání a přívod procesní kapaliny. Pro tuto funkci tvářecí závitníky, na rozdíl od řzacích, nebývají vybaveny drážkami, případně jen velmi mělkými. U každého tvářecího závitníku je přívod procesní kapaliny k jeho pracovní části zajištěn speciálním tvarem průřezu. Ten je mnohoúhelníkový se zaoblenými vrcholy [21].

2.3 Výroba závitů do lemovaných děr

Výše popsanými metodami je sice vyrobena naprostá většina všech závitů, ale při výrobě závitů v tenkostěnných dílech, na které jsou kladeny různé konstrukční nároky, tyto metody často tvoří pouze jeden krok výrobního procesu. Při výrobě závitu přímo do tenké stěny materiálu, bez jakékoliv její předešlé úpravy, obvykle nelze dosáhnout požadované hloubky závitu. Jedním z možných řešení je vytvořit na materiálu lem, čímž vznikne hlubší díra, do které následně může být závit vyroben (obr. 11).

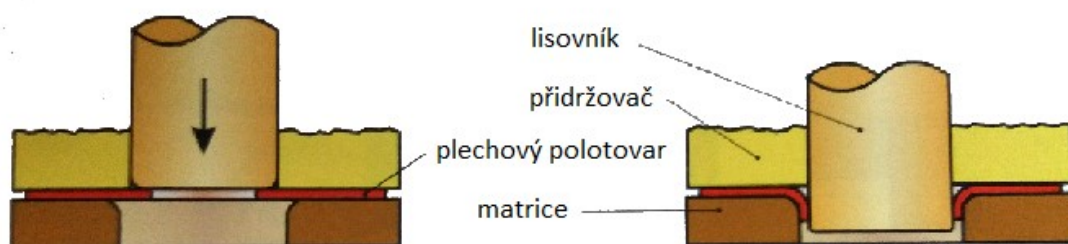


Obr. 11 Šroubový spoj se závitem v lemu [24].

2.3.1 Lemování tvářením za studena

Jednou z možností, jak vyrobit na tenkém materiálu lem, je tvářením za studena. Okraje výrobků z tenkých plechů bývají často opatřeny lemy pro zlepšení vzpěrné stability a zvýšení kvadratického momentu. Dalším využitím této technologie však může být současně také výroba závitů. V takovém případě se jedná o uzavřený lem vyrobený na obvodu kruhové díry, také označovaný jako průtaž [24].

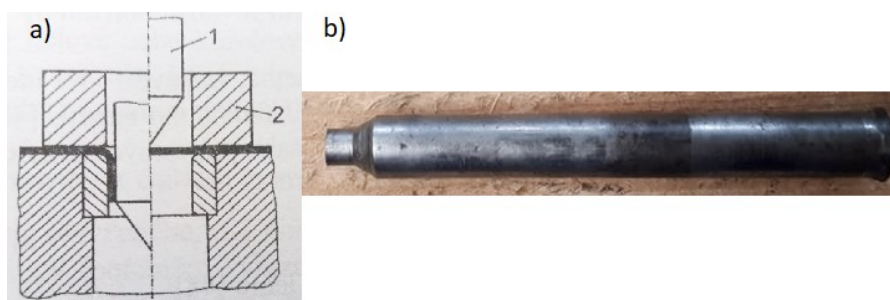
Do plechu je nejprve vyrobena díra o průměru menším, než jaký je požadovaný průměr výsledné průtaže. Lem je vyroben z přebytečného materiálu okolo vystřižené díry. Tento materiál je v podstatě ohýbán přes hranu matrice o úhel 90 stupňů (obr. 12) [25].



Obr. 12 Princip lemování tvářením za studena [25].

Při výrobě lemu může docházet k nežádoucímu vzniku trhlin. Bezchybný průběh tvářením je limitován vlastnostmi materiálu a procesními faktory. Lepších výsledků lze dosáhnout například zlepšením kvality plochy hrany předpřipravené díry či použitím horního, případně i spodního přidržovače [26].

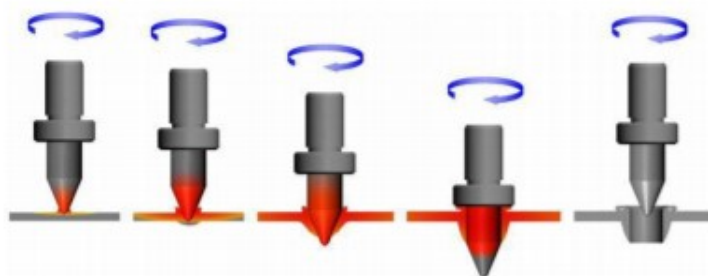
Zásadní vliv na průběh procesu mají také geometrie použitých nástrojů. Speciální lisovnice se používají pro výrobu lemu jedním zdvihem. Takový lisovník může být vybaven střížnou hranou, nebo střížníkem pro prostřížení díry (obr. 13b). Další možností je použití lisovnicku s ostrým hrotem, který díru v materiálu „protrhne“ (obr. 13a). Je vhodný pro použití u průtaží malých průměrů v tenkých materiálech, přičemž je nutné použití horního přidržovače [26].



Obr. 13 Příklady lisovníků pro výrobu průtaží jedním zdvihem:
a) Princip lemování ostrým hrotem [26], b) kombinovaný nástroj – střížník a tažník.

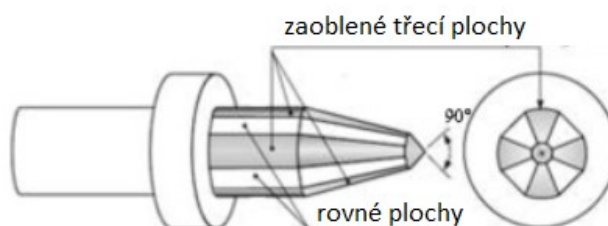
2.3.2 Lemování termálním vrtáním

Dalším způsobem výroby lemu je metoda termálního vrtání, také se lze setkat s označením Flowdrill, Thermdrill, případně třecí vrtání. Jedná se o metodu, která využívá třecí teplo vzniklé mezi tvářecím vrtákem a tvářeným materiálem v důsledku rotačního pohybu vrtáku a axiální síly, která ho tlačí do materiálu. U zahřátého materiálu dojde ke změkčení a následnému proděravění za současného vytažení přebytečného materiálu do podoby lemu (obr. 14) [27]. Přestože byl základní princip termálního vrtání dříve popsán již v roce 1923 Jean Claudem de Valièrem, v praxi se začala metoda využívat až v 80. letech. Do té doby nebyly dostupné materiály pro výrobu nástroje, ani stanovena jeho správná geometrie [28].



Obr. 14 Princip termálního vrtání [27].

Vrták je vyrobený z karbidu wolframu. Skládá se z hrotu s vrcholovým úhlem 90° , kuželové a válcové části, které zajišťují samotné tváření. Za nimi následuje zarovnávací prvek a nakonec upínací stopka. Optimální geometrie nástroje, posuzovaná při vrtání do 1 mm silného korozivzdorného plechu, je charakteristická především úhlem kuželové části 30° a mnohoúhelníkovým průřezem se zaoblenými vrcholy. Nejlepších výsledků je dosahováno při poměru 50 % zaoblených třecích ploch z celkové plochy nástroje. Zbylou polovinu plochy obvodu nástroje pak představují plochy rovné (obr. 15) [29].



Obr. 15 Znázornění geometrie a poměru ploch na nástroji [29].

Nástroj se upíná do kleštiny speciálního držáku vybaveného chladicí turbínou [30].

Typy nástrojů podle délky:

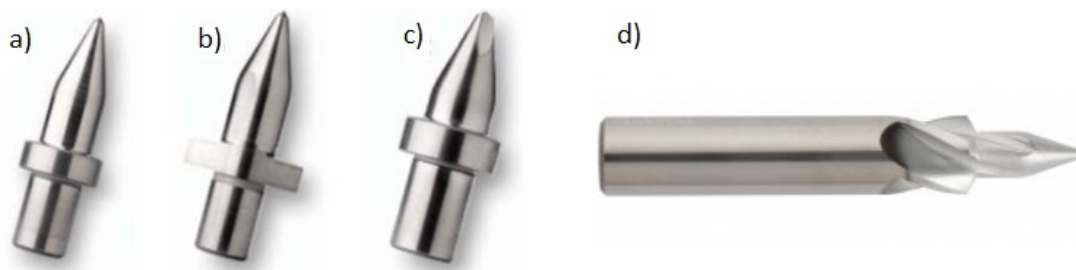
- dlouhé,
- krátké.

Typy nástrojů podle zarovnávacího prvku:

- Standard (obr. 16a),
- Flat (obr. 16b).

Ostatní typy nástrojů:

- vrták s břitem na hrotu – REM (obr. 16c),
- vrták do hliníku (obr. 16d),
- speciální vrtáky [30, 31].



Obr. 16 Typy vrtáků: a) Standard, b) Flat, c) REM, d) vrták do hliníku [24, 31].

Každý vrták je podle svého průměru určen pro výrobu jednoho konkrétního průměru závitu tvářecím závitníkem. Pro méně náročné situace lze k výrobě závitu použít i řezací závitník, což se kvůli malé tloušťce stěny obecně nedoporučuje. Snížení zatížitelnosti závitu je pak přibližně o 20 % [23]. Podle tloušťky děrovaného materiálu je volena dlouhá, nebo krátká varianta vrtáku. Podle typu zarovnávacího prvku jsou nástroje označovány buď Standard, nebo Flat. Typ Standard je vybaven válcovým nákrůžkem, jehož čelní plocha formuje materiál vytlačený nad povrch do podoby hladkého rovnoměrného kroužku. Na typu Flat jsou pak umístěny frézovací břity určené k odstranění tohoto materiálu, zarovnání povrchu a vytvoření mírného zkosení na okraji díry.

Všechny vrtáky mohou mít na hrotu umístěn břit pro snazší pronikání do materiálu. To je zvláště výhodné v případě povrchových úprav, které mohou komplikovat proces termálního vrtání. Také může nastat situace, kdy je stěna materiálu příliš tenká a nedostatečně podepřená a vlivem velké přitlačné síly by došlo k deformačnímu poškození dílu. Tato síla může být zmenšena právě užitím nástroje s tímto prvkem. Tyto vrtáky nesou označení REM [30].

Při termálním vrtání je třeba brát ohled na vlastnosti tvářeného materiálu. Například hliník je náchylnější ke vzniku adhezních spojů s nástrojem. To může mít vliv na kvalitu povrchu vyvrtané díry i na životnost výsledného závitového spoje [27]. Pro termální vrtání do hliníku je vyráběn speciální nástroj s označením Aludrill. Zároveň je doporučováno pro vrtání hliníku a neželezných materiálů používat přibližně o 50 % vyšší otáčky nástroje oproti nízkouhlíkové oceli [31]. Korozivzdorné oceli vykazují mnohem lepší kvalitu tvářené plochy, zároveň vyžadují vyšší hodnoty axiálních sil při pronikání vrtáku do

materiálu [27]. Oproti nízkouhlíkové oceli se doporučuje snížení otáček o 15 % a pro závity větších průměrů než M8 o desetinu milimetru větší průměr vrtáku [31].

Firma Flowdrill neustále vyvíjí nové vrtáky podle specifických požadavků svých zákazníků. Vznikají tak speciální typy nástrojů s atypickými délkami, zkoseními či geometrií [32].

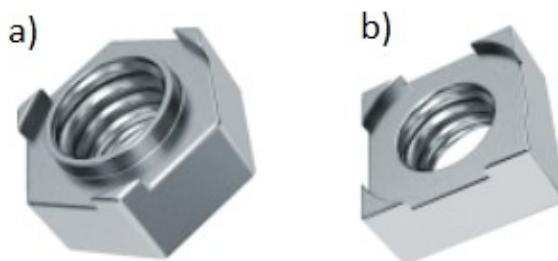
Životnost vrtáku je při použití v nízkouhlíkové oceli přibližně až 10 000 děr [31]. Je ovlivňována především správným mazáním a pravidelnou údržbou nástroje v podobě jeho čištění od ulpěného materiálu. K mazání jsou užívány speciální pasty, jejichž účelem je spíše než snižování třecího koeficientu právě zamezování adheze materiálu k nástroji. Aplikace past probíhá v dávkách, například nanášením speciálním štětcem. Podstatnou roli hraje také dodržování správných podmínek procesu termálního vrtání, jako jsou otáčky a rychlost posuvu. Pro jejich splnění jsou kladeny relativně vysoké nároky zejména na výkon motoru stroje [28, 31].

2.4 Navařovací matice

Alternativu k výrobě závitů přímo do základního materiálu představují různé druhy upevňovacích matic, které lze se základním materiálem nerozebíratelně spojit.

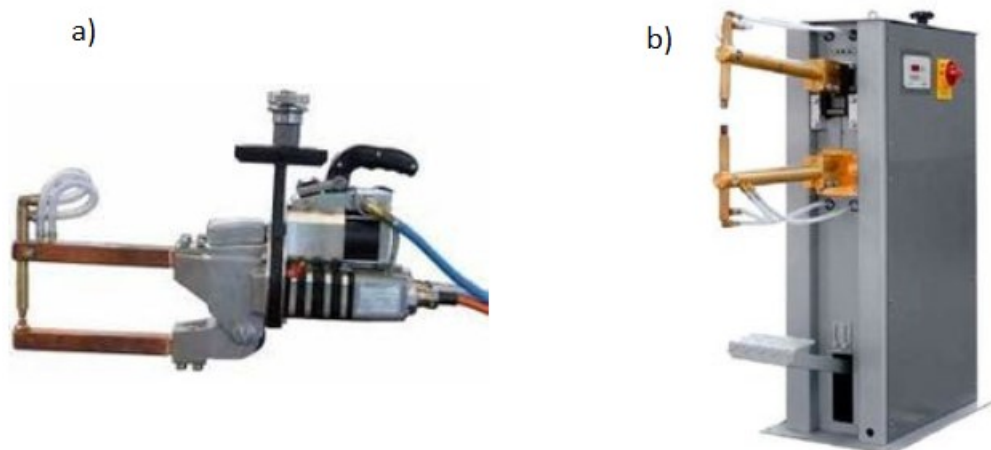
Jedním z typů těchto matic jsou matice navařovací. Jak jejich název napovídá, jejich spojení se základním materiálem je realizováno svařem. Nejčastější metodou navařování matic je výstupkové odporové svařování, někdy také označované jako bradavkové. Princip odporového svařování je stlačení a natavení spojovaných materiálů v jednom bodě vlivem odporového tepla. To vzniká v důsledku průchodu svařovacího proudu mezi elektrodami tímto bodem. Takto popsaná metoda svařování nese název bodové odporové svařování. Výstupkové odporové svařování je založeno na podobném principu. Rozdíl je v tom, že jednotlivé svařované body jsou určeny výstupky na jednom z dílů. Pokud je výstupků na dílu více než jeden, svařování probíhá na všech současně [33, 34].

Navařovací výstupky jsou umístěny na spodní straně (obr. 17). Kromě nich se tyto matice od obyčejných mohou lišit ještě límcem, který usnadňuje přesné usazení matice do díry a zároveň brání vniknutí rozstříku nataveného materiálu do závitu. Matice jsou vyráběny z uhlíkových nebo austenitických korozivzdorných ocelí nejčastěji bez povrchové úpravy, někdy také poměděné [35].



Obr. 17 Normalizované typy navařovacích matic: a) šestihranná, b) čtyřhranná [35].

Pro montáž navařovacích matic lze v případě kusové výroby použít například ruční bodovací kleště (obr. 18a). Pro výrobu sériovou se pak používají stojanové lisys pro bodové svařování (obr. 18b).



Obr. 18 Vybavení pro navařování matic a) bodovací kleště, b) stojanová bodovací svářečka [36].

Rozdělení navařovacích matic:

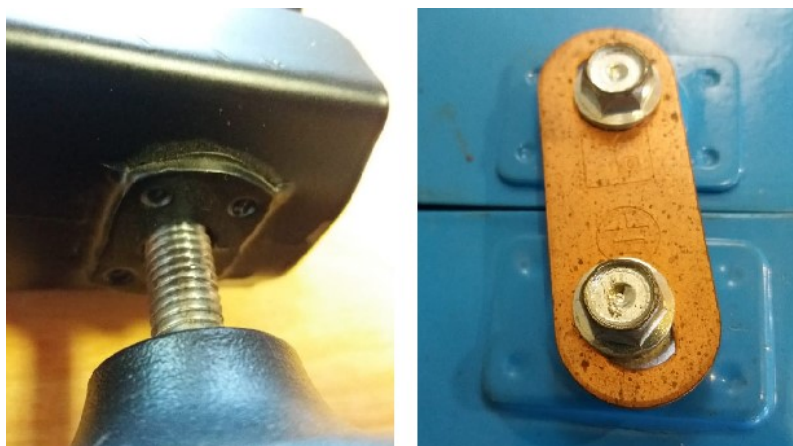
- šestihranné navařovací matice,
- čtyřhranné navařovací matice,
- kulaté navařovací matice,
- navařovací matice s plochou základnou,
- navařovací klecové matice,
- navařovací pouzdra,
- speciální navařovací matice.

Šestihranné matice podle normy DIN 929, resp. ČSN 21455 mají navařovací výstupky ve třech rozích (obr. 17a). Vyrábí se však také šestihranné matice se šesti výstupky. To znamená větší plochu svaru a tím i pevnější spojení. Zároveň však musí být při větším množství výstupků kladen důraz na rovinnost povrchu plechu a přesnost usazení matice před svařováním, tak aby se všechny výstupky povrchu dotýkaly. Další standardizovaný typ šestihranné navařovací matice je matice s límcem podle DIN 977.

Standardizované čtyřhranné matice podle DIN 928 mají čtyři výstupky (obr. 17b), tedy více než DIN 929, a platí tak opět nutnost dbát větší přesnosti usazení. Ta musí být zajištěna keramickým středícím trnem, jelikož zde není přítomen límec.

Kulaté matice jsou navrženy tak, aby svým tvarem usnadňovaly automatizovanou výrobu [37].

Plochá základna (obr. 19) dalšího typu navařovacích matic poskytuje větší stykovou plochu s plechem. Tyto matice jsou vyráběny v mnoha různých provedeních. Základna může být hladká, nebo s výstupky, kruhová, nebo obdélníková pro instalaci do užších prostor. Závitová část může být různě dlouhá, otevřená, nebo uzavřená. Na jedné navařovací základně může být umístěno více závitových děr.



Obr. 19 Navařovací matice s plochou základnou použité na držáku síťky na stolní tenis a k napojení částí plechového krytu.

Navařovací klecové matice se skládají z klece, která je k plechu přivařena, a samotné matice, která se v kleci může volně pohybovat. Pokud je na součást po instalaci klecové matice nanášen nátěr elektrolytickou metodou, je nutné matici uvnitř klece elektricky izolovat, aby nedošlo k nánosu barvy na závit. Toho je dosaženo zavěšením matice do plastových kroužků tak, aby byla zachována možnost jejího pohybu [38]. Pohyblivé uložení pak umožňuje dotažení šroubu, jehož osa není kolmá na rovinu plechu.

Existuje mnoho druhů navařovacích matic lišících se nejčastěji počtem a tvarem výstupků nebo jinak neobvyklým celkovým tvarovým provedením. Případně mohou být například opatřeny nějakou formou zajištění proti samovolnému uvolnění vlivem vibrací.

2.5 Nýťovací matice

Nýťovací matice představuje další možnost, jak připevnit závit na tenký materiál. Skládá se ze tří částí (obr. 20). Na povrch materiálu vystupuje hlava matice. Pod hlavou se nachází dřík, který je při montáži působením axiální síly plasticky deformován za předem vytvořenou dírou. Tím vznikne pevný spoj matice s materiálem. Pod dříkem je pak samotný závit.

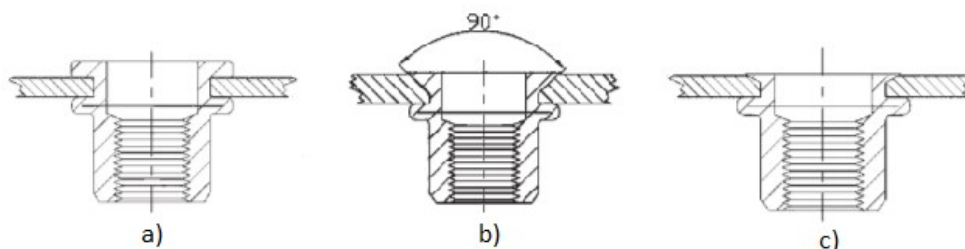


Obr. 20 Instalovaná nýtovací matice.

Podle typu matice a materiálu, ze kterého je matice vyrobena a z toho plynoucích nároků na velikost axiální montážní síly, lze pro montáž matic použít různé druhy zařízení. Ta jsou vybavena šroubem se stejným závitem, jako je závit matice. Matice je před samotnou montáží na šroub zašroubována na dotyk s tělem zařízení, nebo podložkou pod hlavou šroubu. Takto našroubovaná je vsunuta do předpřipravené díry. Následuje působení axiální silou na deformovaný dřík. Používají se dvě metody toho, jak je tato síla, potřebná k vyboulení dříku, vyvíjena. Při první metodě je silového působení dosaženo dalším zašroubováním šroubu do matice. To lze provést například klíčem, nebo vrtačkou a šroubem, kterým je výsledný spoj realizován. To se však obecně nedoporučuje a v praxi se často užívá druhá metoda. Při té je axiální síly dosaženo vytahováním zašroubovaného šroubu směrem ven z díry. K tomu se užívají buď speciální ruční nebo pákové nýtovací kleště se závitovým trnem, nebo různé druhy pneumatických pistolí, které umožňují nastavení montážní síly i délky vytažení šroubu. Případně jsou na trhu také nástavce na elektrické vrtačky, které přeměňují vstupní rotační pohyb na posuvný, a tím krouticí moment na požadovanou tahovou sílu [39].

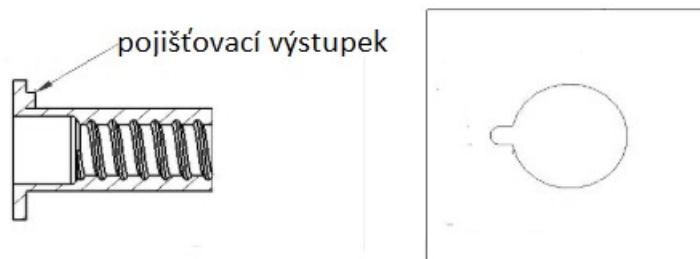
Podle typu hlavy lze matice rozdělit na:

- matice s plochou hlavou (obr. 21a),
- matice se zápustnou hlavou (obr. 21b),
- matice s mikro (redukovanou) hlavou (obr. 21c) [40].



Obr. 21 Různé typy hlav nýtovacích matic [40].

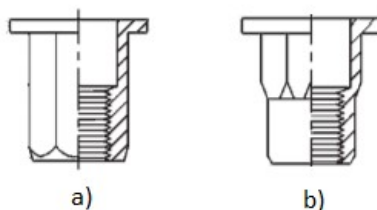
Plochá hlava přechází nad povrch materiálu. Zápustná a mikro hlava nad materiál buď vůbec, nebo takřka nevystupují. V případě matice se zápustnou hlavou je to zajištěno zkosením hrany díry před montáží matice. Typ hlavy má vliv také na odolnost vůči protočení v důsledku krouticího momentu a odolnost vůči vytlačení matice z díry. Nejodolnější je matice s plochou hlavou díky větší stykové ploše s materiálem. Pro zvýšení odolnosti proti protočení může mít hlava na spodní straně rýhování, nebo může být opatřena pojišťovacím výstupkem, který zapadá do předem vytvořené drážky v materiálu a brání tak rotačnímu pohybu matice (obr. 22).



Obr. 22 Znáznornění matice s pojišťovacím výstupkem a tvaru předpřipravené díry [41].

Podle tvaru dříku lze matice rozdělit na:

- matice kulaté hladké,
- matice kulaté rýhované,
- matice šestihranné (obr. 23a),
- matice částečně šestihranné (obr. 23b) [40].

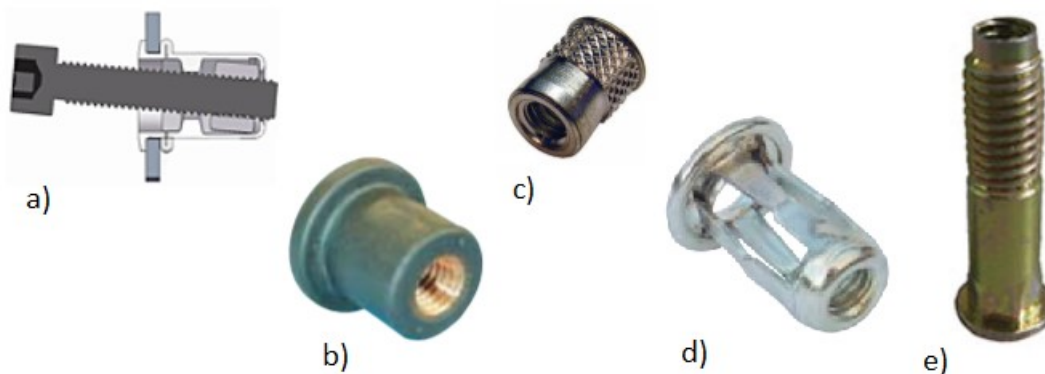


Obr. 23 Nýtovací matice a) šestihranná, b) částečně šestihranná [40].

Tvar deformovaného dříku má zásadní vliv na odolnost vůči protočení. Šestihranné matice (obr. 23) jsou vůči protočení mnohem odolnější než kulaté (kapitola 4.2.3). Pro instalaci do měkkých materiálů obvykle stačí kulaté dříky opatřené rýhováním, které zajistí pevnější spojení. Nejčastějším typem je rýhování přímé (obr. 20), vyrábí se ale také například nýtovací matice s rýhováním kosoúhlým (obr. 24c).

Pokud je při aplikaci nýtovací matice kladen požadavek na vodotěsnost nebo vzduchotěsnost jejího spoje se základním materiálem, je na spodní straně hlavy matice umístěna nějaká forma těsnění. Toto těsnění lze realizovat různými způsoby. Mohou být použity různé tvary těsnicích kroužků z různých materiálů, jako je plastisol, silikon, PVC či nitrilová pryž (příloha 3). Případně mohou být těsnicí materiály nanášené v tekuté formě. Těsnicí lepidla mohou výrazně ovlivnit také odolnost vůči protočení [41].

Existuje nepřeberné množství různých dalších druhů nýtovacích matic, přičemž jejich výrobci neustále zdokonalují a vyvíjejí nová konstrukční řešení těchto závitových prvků pro konkrétní a někdy velice specifická využití. Tyto matice mohou mít atypicky malé, nebo velké rozměry, vyšší pevnost, lepší těsnicí prvky pro konkrétní podmínky atd. Případně se může jednat o matice se speciálními, na první pohled odlišnými prvky.



Obr. 24 Příklady speciálních typů nýtovacích matic: a) klecové provedení, b) gumová matice, c) kosoúhlé rýhování dříku, d) rozpěrná matice, e) matice s vnitřním i vnějším závitem [39, 41, 42].

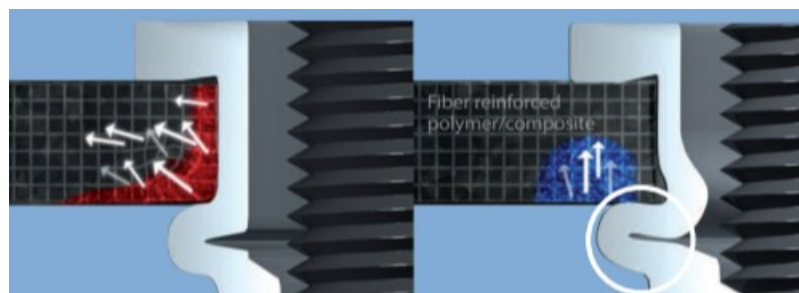
Speciálním typem nýtovací matice je patent firmy Sherex, a to matice s obchodním označením Riv-float (obr. 24a). Její jedinečnost spočívá v tom, že kombinuje některé vlastnosti matic nýtovacích a klecových. Závitová část je v těle matice uložena s vůlí a může se volně pohybovat. To umožňuje použití i v situacích, kdy osy děr na spojovaných součástech neleží přímo nad sebou, aniž by došlo ke křížení závitů a utahování přes závit [41].

Dalším specifickým typem matice, jejíž montáž funguje na podobném principu jako nýtovací matice, je matice gumová (obr. 24b), někdy označovaná jako wellnut. Je tvořena dvěma částmi, elastickým neoprenovým pláštěm a v něm vloženou mosaznou maticí. Pružný plášť umožňuje instalaci za vynaložení relativně malé síly oproti kovovým materiálům. Stačí pouze utáhnout šroubem a matice se připevní. Takovéto spojení gumovým materiálem pak může plnit funkci těsnění a je odolné proti vibracím [43].

Dalším příkladem jsou speciální druhy rýhování pro zvýšení odolnosti vůči protočení. Ze stejného důvodu může být dřík takzvané rozpěrné matice štěrbinami rozdělen na čtyři části, které jsou částečně předechnuty (obr. 24d). To navíc zmenší nároky na sílu potřebnou k přinýtování matice [42].

Pod hlavu matice může být umístěn límec, který je vsunut do základního materiálu a po utažení šroubu zabrání poškození součásti. Mezi hlavou a deformovanou částí dříku totiž zůstane nedeformovatelná část plnící funkci středícího kroužku o stejné délce, jako je tloušťka materiálu. Vyboulení dříku tak musí vzniknout až za materiálem, čímž je zajištěna také vyšší přesnost usazení matice [41].

Stěny roznýtovaného dříku obyčejné nýtovací matice působí na materiál kromě jeho svírání také radiálními silami na boky díry. To je účelné pro zajištění odporu vůči protáčení. Ve vláknových kompozitech však může být působení těchto sil problematické a například způsobovat delaminaci. Pro toto použití je tedy vyvinut speciální druh matice, jejíž dřík pouze svírá základní materiál, a to v dostatečné vzdálenosti od předpřipravené díry (obr. 25) [44].



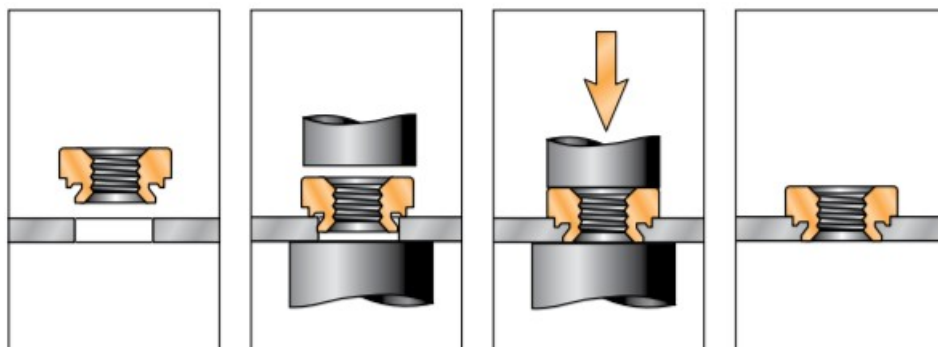
Obr. 25 Znáznornění rozdílu silového působení dříku na stěnu díry ve vláknovém kompozitu u obyčejné a speciální nýtovací matice [44].

2.6 Lisovací matice

Další možnost, jak vyrobit vnitřní závit v tenkém materiálu, představují matice lisovací. Jak jejich název napovídá, jedná se o součásti, které lze zalisovat do předem připravené díry v plechu nebo plastové desce.

Standardní lisovací matice má dvě části. Spodní část, která je při montáži zatlačena do materiálu, se nazývá krček nebo dřík. Horní část je tělo matice, které vystupuje nad povrch materiálu (obr. 26).

Při zalisování matice do předpřipravené díry je materiál plechu tvářen za studena a zatéká do zápichu v krčku. Zoubkování nad zápichem pak brání matici v protočení. Lisování probíhá v důsledku síly působící v ose závitů matice. Tato síla má pro konkrétní typ matice přibližnou hodnotu udávanou výrobcem. Optimální lisovací podmínky, tedy dobu tlačení a lisovací sílu, je ale zapotřebí stanovit testováním před zahájením samotné výroby. Pro instalaci lisovací matice lze tedy použít lis, který nastavení daných hodnot umožňuje. Po zalisování musí být krček matice po celém svém obvodu zatlačen do materiálu, zároveň však nesmí dojít k poškození závitu vlivem vysoké lisovací síly. Spodní část těla matice musí ležet v jedné rovině s povrchem materiálu. Tím je zajištěna kolmost osy matice na materiál [45].



Obr. 26 Znáznornění principu lisování matic [42].

Použit lze teoreticky jakýkoliv typ lisu. Vzhledem k tomu, že lisování matic se typicky uplatňuje zejména v sériové výrobě, je vhodné použití lisu speciálně uzpůsobeného pro montáž lisovacích prvků. Charakteristickým vybavením těchto lisů je například zásobník a zařízení pro automatické podávání lisovacích prvků do osazované díry. Na trhu jsou tyto lisy jak hydraulické (obr. 27), tak pneumatické, mechanické či elektrické.



Obr. 27 Hydraulický lis Haeger 618.

Lisovací matice jsou vyráběny z různých materiálů. Při výběru matice je třeba brát ohled na to, že materiál matice musí mít vyšší tvrdost než materiál, na který je instalována. Nejčastější jsou matice z nízkouhlíkové pozinkované oceli, nebo z korozivzdorné oceli, dostupné jsou ale také z hliníku, mosazi či fosforbronzu [35].

Příklady typů lisovacích matic:

- standardní lisovací matice (obr 28a),
- nízká lisovací matice (obr 28b) – po instalaci nevystupuje nad materiál ani na jedné straně.
- plovoucí matice (obr 28c) – klecové provedení,
- lisovací matice do desek plošných spojů – matice protahovací (obr 28d),
- lemovací lisovací matice (obr 28e),
- matice s nýtovacím krčkem (obr 28f),
- lisovací pouzdra (obr 28g).



Obr. 28 Příklady typů lisovacích matic [35, 42].

Lisovací matice do desek plošných spojů

Pro desky plošných spojů a špatně tvařitelné materiály obecně se používá speciální druh lisovacích matic. Jelikož u těchto materiálů lze těžko docílit jejich zatečení do zúžení na krček matice, má krček odlišný tvar. V anglickém jazyce jsou tyto matice známy jako broaching nuts, což může být do češtiny přeloženo jako protahovací matice. Vroubky na obvodu krčku (obr. 28d) jsou během zalisování matice protahovány, respektive zařezávají se do materiálu a zabráňují protočení matice.

Vroubkování může být kromě přímého provedení realizováno také pod úhlem a zajišťovat tak větší odolnost vůči protočení [35].

Lemovací lisovací matice

Zajímavým typem lisovacích matic je lemovací matice, během jejíhož lisování (obr. 29) probíhá zároveň tváření lemu na předpřipravené díře. Následně je krček matice přehnut přes hranu lemu. Při zatížení šroubem dochází ke svírání stěny lemu a tím je zajištěna velmi vysoká pevnost spojení [46].

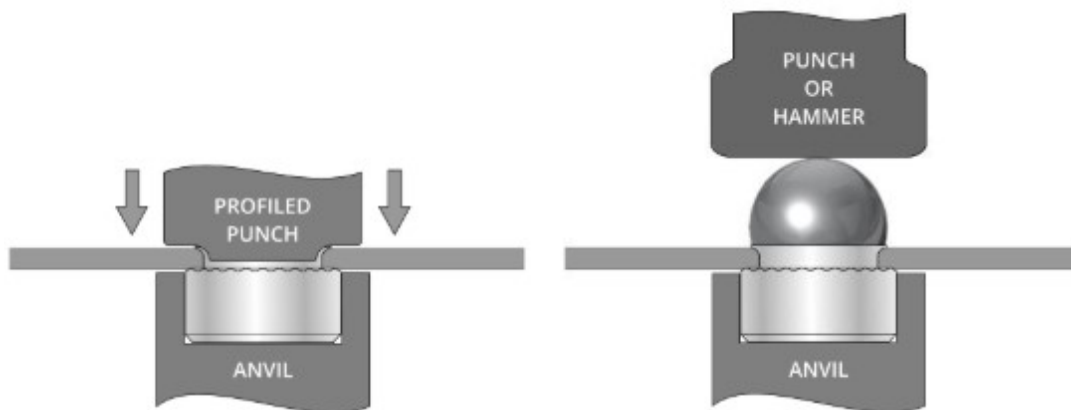


Obr. 29 Princip instalace lemovací lisovací matice [46].

Matice s nýtovacím krčkem

Je to speciální typ lisovacích matic, při jejichž instalaci je užita i technologie nýtování. Převažují u nich specifika lisovacích matic, jako použití lisu při jejich instalaci a nutnost přístupu z obou stran plechu. V rámci této práce jsou označovány také jako lisovací nýtovací matice.

Jejich zvláštností je krček tvořený límcem, který je při instalaci prostrčen předpřipravenou dírou a na druhé straně roznýtován razníkem s definovanou geometrií. V méně náročných případech stačí k roznýtování úder kladiva do na krčku umístěné kuličky (obr. 30) [47]. Pro lepší odolnost vůči protočení mohou být krček, spodní strana matice, nebo obojí zároveň rýhované (obr. 28f).



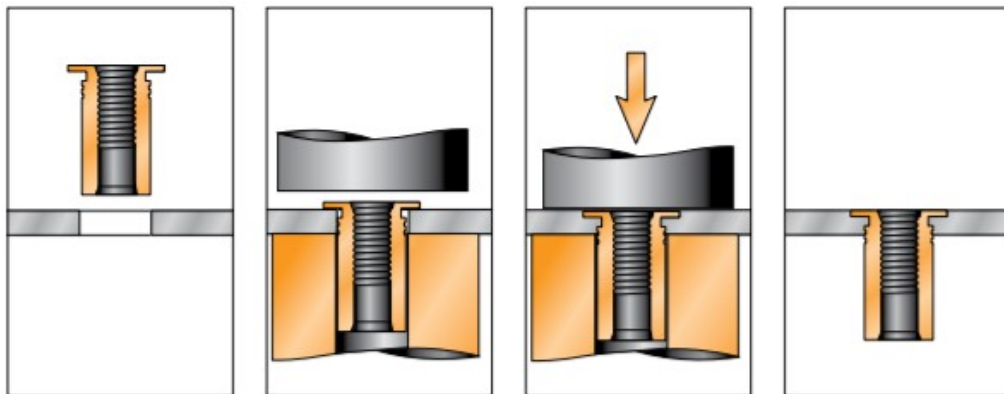
Obr. 30 Znázornění principů instalace lisovacích matic s nýtovacím krčkem [47].

Lisovací pouzdra

Zvláštní kategorii lisovacích prvků tvoří lisovací pouzdra. Rozdíl mezi nimi a lisovacími maticemi spočívá především v jejich funkci. Mají definovanou délku. Používají se v případech, kdy je jeden díl zapotřebí přišroubovat ke druhému tak, aby mezi nimi byla vzdálenost určená právě délkou pouzdra.

Vyrábějí se pouzdra otevřená i uzavřená v mnoha různých variantách krčku. Mohou být opatřena stejnými „protahovacími“ vroubkami jako matice do plošných spojů či nýtovacím krčkem. Nejpoužívanější jsou ale lisovací pouzdra s šestihrannou hlavou, za

kterou následuje zúžení ve formě zápichu. Hlava je po zalisování úplně zatlačena do roviny s povrchem plechu a zajišťuje odolnost vůči protočení. Přebytečný materiál zateče do zápichu (obr. 31).



Obr. 31 Znázornění principu instalace lisovacích pouzder [42].

2.7 Nasouvací a nacvakávací matice

Specifickým prvkem těchto matic je konstrukce z pružinové oceli (příloha 4), nebo plastu, na které je umístěna závitová část (obr. 32).



Obr. 32 Příklady nasouvacích a nacvakávacích matic [48].

Na rozdíl od výše uvedených typů matic jsou tyto matice se základním materiálem spojeny rozebíratelně. Toto spojení je realizováno elastickou deformací pružné části matice, která je následně vtlačena, nebo nasunuta do připravené díry a po odlehčení se v něm zaklesne.

Pro tento prostý způsob instalace obvykle není zapotřebí užití žádných nástrojů. V některých případech může být montáž usnadněna použitím plochého šroubováku.

Jak název podkapitoly napovídá, rozlišují se dva základní druhy těchto matic. Nasouvací matice, také označované jako klipové (obr. 32a), jsou nad díru nasouvány přes hranu materiálu. Pro díry, které se nachází dále od okraje, se pak používají matice označované jako nacvakávací (obr. 32b), někdy také vkládací. Existuje však mnoho dalších, například klecových provedení těchto matic.

2.8 Závítové prvky do plastů a kompozitů

Kromě speciálních matic nýtovacích a lisovacích vhodných pro užití v plastových materiálech existuje mnoho dalších specifických závítových prvků pro tento účel:

- **Závítové vložky**

Jedním takovým prvkem jsou závítové vložky instalované do plastových materiálů za účelem zlepšení pevnostních charakteristik závitů. Vložky jsou vyrobeny z kovu, nejčastěji z mosazi. Vyrábějí se různé druhy pro jednotlivé způsoby instalace:

- a) Pro instalaci do hotového dílu

Vnější strana závítové vložky je opatřena drážkami a zápichy, do kterých zateče roztavený plast, po jehož ztuhnutí vznikne pevný spoj. Při instalaci do hotového dílu je vložka nasazena na rozehřátý kolík, od kterého se zahřeje a následně lokálně nataví plast. Jiným způsobem získání tepla, potřebného pro natavení materiálu, je tření. V takovém případě se jedná o ultrasonickou instalaci. Studený kolík s vložkou v materiálu vibruje, dokud nedojde k natavení a následně ji vtlačí do požadované hloubky [49].

- b) Pro instalaci během vstřikování

V některých případech je výhodnější instalovat závítové vložky již během procesu vstřikování. Tento způsob zajistí dokonalejší zatečení roztaveného materiálu do vnějších drážek. Ve vložce musí být zašroubován ochranný kolík, který zabráni zatečení plastu do závitu. Použití je vhodné zejména pro plasty s vyšším podílem výztuhy skelnými vlákny [49].

- **Lepené matice**

Klasické lepené matice jsou složeny ze závítové části připevněné k ploché, děrované základně. Instalace je realizována vmáčknutím matice do vrstvy předem naneseného lepidla. Lepidlo proteče dírami v základně a po zatuhnutí vznikne pevný spoj. V případě laminátových kompozitů lze matice instalovat také do pryskyřicového pojiva mezi jednotlivé vrstvy vláken před zatuhnutím. Základny jsou vyráběny v mnoha tvarech a velikostech, přičemž platí, že čím větší je plocha základny, tím pevnější je výsledný spoj. Použití těchto matic není omezeno na plasty a kompozity, ale lze je připevnit například i na dřevo, sklo, plechy atd. Možnosti jejich použití závisí především na použitém lepidle.

Další typ lepených matic jsou speciální matice do sendvičových kompozitů. Boky děl vytvořených v těchto materiálech nemají v případě voštinového jádra přesný válcový tvar. Po vložení matice vzniká kolem ní nepravidelná vůle, která musí být vyplněna přídavným materiálem. K tomu se užívají epoxidová lepidla, která matici v díře pevně ukotví. Alternativu představuje výroba závitu do deskové krycí vrstvy kompozitu přinýtováním matice, příp. termálně vyvrtaným lemem, pokud je krycí vrstva z hliníku.

Jinou možnost pro použití do sendvičových kompozitů představují dvoudílné matice, kdy každá část je do materiálu vsunuta z jedné strany. Jedna strana pak tvoří pouzdro, do kterého je vložena část se závitem. Obě části jsou spojeny lepidlem předem naneseným na stykové plochy obou částí [50].

- **Pájená závítová pouzdra a matice**

Tyto závítové prvky jsou speciálně vyvinuté pro použití do desek plošných spojů jako alternativa k prvkům lisovacím. Na rozdíl od těch jsou na plošný spoj pájeny stejně jako ostatní SMD součástky. Tím lze předcházet delaminaci.

2.9 Prvky s vnějším závitem

V některých situacích může být výhodnější připevnit k základnímu materiálu šroub místo matice. Oproti výše zmíněným způsobům výroby závitů zde šroubový spoj s dalšími díly vznikne nasazením dané součásti nebo součástí na připevněný šroub a zašroubováním matice z opačné strany.



Obr. 33 Příklady upevňovacích prvků s vnějším závitem:
a) navařovací, b) nýťovací, c) lisovací [35, 41].

Používají se šrouby nýťovací, navařovací, lisovací (obr. 33) nebo lepené s mnoha různými variantami specifických částí sloužících k samotnému připevnění k základnímu materiálu. Tyto části jsou obdobné jako ty u příslušných, již podrobně popsanych, druhů matic. Také principy instalace jednotlivých druhů šroubů se od těch používaných pro spojovací prvky s vnitřními závity zásadně neliší.

2.10 Samořezné šrouby

Dalším způsobem realizace šroubového spoje na tenkostěnných dílech je použití samořezného šroubu. Zásadní rozdíl od všech výše zmíněných metod výroby šroubových spojů je, že v tomto případě výroba díry a závitu v základním materiálu i finální přišroubování další části, nebo částí, probíhá v jedné operaci. To je umožněno schopností šroubu vytvořit si závit pro vlastní zašroubování. Šroub se skládá z hlavy, závitové části a zakončení.

Rozdělení podle typu zakončení:

- šrouby s tupou špičkou,
- šrouby s ostrou špičkou,
- samovrtné šrouby,
- samovrtné šrouby s křídélky,
- šrouby s hrotem pro termální vrtání.

Šrouby s tupou špičkou musí být zavrtány do předpřipravené díry. Ostatní šrouby je možno instalovat do plného materiálu a celý technologický režim jejich montáže tak sestává pouze z jedné operace. Jednotlivé typy těchto šroubů se pak odlišují prvkem na hrotu, který jim zavrtání do materiálu umožňuje. U šroubů s ostrou špičkou, také označovaných jako vruty, je to kuželový náběh, který tvářením vytlačuje materiál. Tyto šrouby jsou vhodné pro měkké materiály.

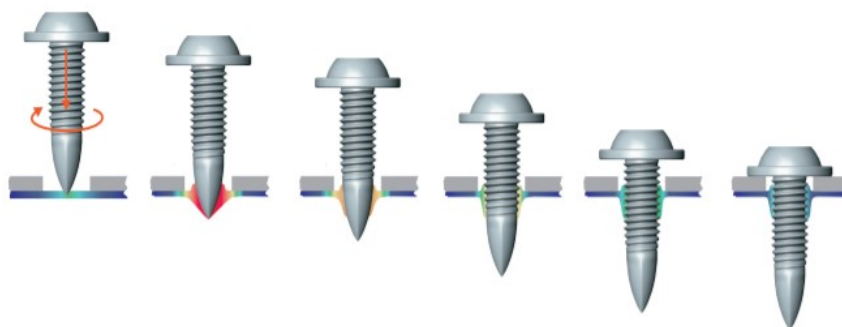
U šroubů samovrtných je to hrotová část vybavená dvěma břity, podobná hrotu vrtáku (obr. 34). Tato část v materiálu vyvrtá díru třískovým obráběním. Speciální šrouby tohoto typu mohou být těsně za hrotem opatřeny dvěma křídélky. To je výhodné například

při spojování dřeva k oceli, kdy ani v jednom materiálu není předvrtaná díra. Vrtací hrot nejprve vyvrtá díru o takovém průměru, aby došlo k pevnému spojení závitové části šroubu s materiálem. To je však žádoucí pouze v základním materiálu, tedy v oceli. V dřevěném materiálu je třeba vytvořit vůli pro volný průchod závitové části šroubu. To zajistí právě zmíněná křídélka. Rozšíří díru v měkkém materiálu a následně jsou zničena, jakmile se dostanou do pevné oceli.



Obr. 34 Příklad použití samovrtného šroubu k ukotvení opláštění z trapézového plechu k L profilu nosné konstrukce výrobní haly.

Vyráběny jsou také šrouby s hrotem, který do materiálu proniká, zatímco ho termálně tváří. Využívá tedy metodu termálního vrtání (kapitola 2.3.2). Příkladem je šroub s obchodní značkou FDS. Ten může být použit jak s předvrtanou dírou v horním materiálu (obr. 35) (např. pokud materiál není vhodný pro termální vrtání), tak bez předvrtané díry ani v jednom z materiálů. Zajímavý je také šroub s obchodní značkou FastFlow, jehož závitovou část tvoří trojchodový závit. To výrazně zrychluje zašroubování, a tím zkracuje strojní čas při použití v automatizované výrobě [51].



Obr. 35 Princip spojování plechu šroubem s hrotem pro termální vrtání [51].

Podle typu závitové části pak lze šrouby rozdělit podobně jako závitníky na řezací a tvářecí. Závit řezacího šroubu je podélně přerušen drážkami, čímž jsou vytvořena jednotlivá čela břitů. Tvářecí šrouby, které se používají do tvárnějších materiálů, mohou být na průřezu, podobně jako tvářecí závitníky, mnohoúhelníkové se zaoblenými vrcholy. Šrouby určené k užití v konkrétních materiálech se specifickými vlastnostmi (např. plasty, hořčíkové slitiny...) bývají vybaveny speciální geometrií závitu [52].

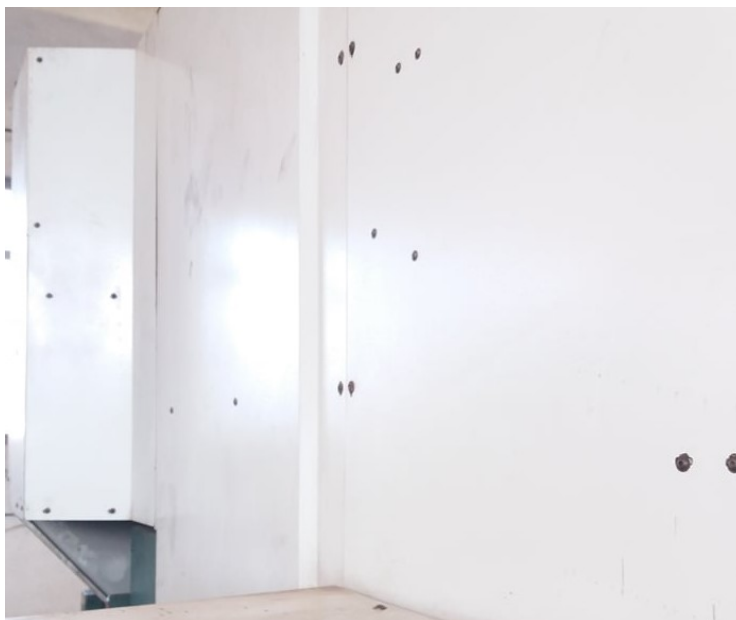
Šrouby lze také rozdělit na množství standardizovaných typů podle tvaru hlavy, který však technologii výroby závitu přímo neovlivňuje.

3 UKÁZKOVÉ SITUACE NA VYTIPOVANÝCH VÝROBCÍCH

3.1 Plechové kryty

Typickým příkladem tenkostěnných dílů jsou různě zpracované výrobky z plechových polotovarů (kapitola 1.1) použité k zakrytí nosných konstrukcí budov (obr. 34), rámců strojů nebo jejich částí, elektrických spotřebičů atd. Účelem těchto plechů je obvykle ochrana zakrytých prostor proti vnějším vlivům. Prioritou je tedy často odolnost vůči jejich působení. Neméně důležitá je však také estetická kvalita krytů, které tvoří viditelnou část výsledného výrobku. Obě kritéria je třeba zohlednit mimo jiné při volbě spojení jednotlivých částí krytu se základní konstrukcí. Motivací k použití šroubových spojů je obvykle požadavek na rozebíratelnost kvůli údržbě zakrytých částí. To, jak často musí montáž a demontáž krytu probíhat, by také mělo ovlivňovat volbu technologie výroby závitu.

Pro názorný příklad byly vybrány kryty různých částí CNC vláknového laseru.



Obr. 36 Vnější plechové kryty spojené šrouby se základní konstrukcí.

Základní konstrukce je tvořena obdélníkovými trubkami a jinými profily. Vnější opláštění a kryty jednotlivých částí stroje jsou vyrobeny z hliníkového plechu (obr. 36). Použití lehkého materiálu snižuje zatížení šroubových spojů. Časté je použití závitů vyrobených přímo v základním materiálu bez zvětšení tloušťky stěny. Takováto realizace šroubového spoje je obvykle bezproblémová při spojení plechu se základní ocelovou konstrukcí. Nespolehlivé jsou však závity vyrobené v hliníkovém plechu, ať už k upevňování dalších součástí ke krytu, nebo ke spojování jednotlivých plechových dílů. Zvláště nedostačující jsou parametry spojů vystavených zatížení od padajících výrobků nebo nešetrné obsluhy. V několika případech musely být poškozené závitové díry vrtáním rozšířeny a opatřeny nýtovacími maticemi.

Příkladem nevhodného použití technologie výroby závitu přímo do plechu bez rozšíření stěny je upevnění krycího měchu k suportu řezací hlavy (obr. 37). Problematická není tolik nízká hodnota délky zašroubování, jedná se o závit M4 v plechu silném 4 mm, jako spíše špatné mechanické vlastnosti hliníkového plechu. Krycí měch je třeba pravidelně demontovat za účelem údržby lineárního vedení. Častá montáž a demontáž

obtížně přístupných spojovacích šroubů v kombinaci s nízkou odolností základního materiálu vedla k deformaci vnitřního závitu. Nedostatečné utažení šroubů (obr. 37) mohlo mít za následek poškození krycího měchu. Problémům se dalo předejít například zmíněným použitím nýtovacích matic s odolnějším závitem, případně realizací rozebíratelného spojení úplně jiným způsobem, například suchým zipem nebo stiskacími knoflíky (druky).



Obr. 37 Spojení příruby krycího měchu a krytu suportu řezací hlavy.

3.2 Rám jízdního kola

Se šroubovými spoji se lze setkat také na většině rámců jízdních kol. Jedná se o svařené trubkové konstrukce, ke kterým jsou pomocí závitů připevňovány další komponenty, jako různé držáky, košíky, odpružení apod. Nejčastější je použití nýtovacích matic (obr. 38), lze se však také setkat se závity vyrobenými přímo do stěny trubky nebo do termálně tvářených lemů. Na tyto spoje obvykle nejsou kladeny vysoké nároky na odolnost vůči zatížení a jejich demontáž probíhá jen výjimečně. Přesto je to technologie nýtování matic, která poskytuje nejvíce výhod.



Obr. 38 Nýtovací matice v rámu jízdního kola.

Ta základní je jednoduchost jejich instalace. Oproti metodě Flowdrill ji lze provést i bez speciálního vybavení. Zároveň je možné matice přinýtovat na kompletní rám podle konkrétních požadavků zákazníka na vybavení kola. Upnutí svařeného rámu a výroba termálně vrtaného lemu by byla přinejmenším komplikovaná. V případě poškození přinýtované matice představuje výhodu také možnost její relativně snadné výměny.

Další výhodou nýtovacích matic je jejich použitelnost takřka bez ohledu na druh základního materiálu. Nejčastěji jsou rámy kol vyráběny ze slitin hliníku, například 6061 či 7005. Stále se lze setkat s rámy ocelovými. V současnosti se však začínají rozšiřovat také rámy z uhlíkových vláknových kompozitů. Přesto, že závity lze vyrábět i přímo do těchto materiálů, nýtovací matice představují mnohem jednodušší a spolehlivější variantu.

3.3 Objímky na trubky a okapové svody

I tak jednoduché součásti jako jsou objímky pro kotvení různých druhů potrubí, jsou vyráběny v široké variabilitě provedení. Tato variabilita se týká také způsobů realizace jednotlivých závitů, které jsou součástí většiny typů objímek. Objímka obvykle sestává ze dvou půlkruhových částí. Podle toho, jak jsou tyto části spojeny, lze objímky rozdělit na jednošroubové a dvoušroubové.

Šroubové spojení bývá realizováno buď šroubem a maticí, nebo závitem vyrobeným v jedné z půlkruhových částí pro snížení počtu volných dílů a usnadnění montáže. Závity jsou na součástech vyráběny do lemovaných děr. Ačkoliv dodavatel vybavení pro technologii Flowdrill udává výrobu závitů na objímce okapového svodu jako příklad využití této metody [53], tváření lemu za studena se v tomto případě jeví také jako vhodná varianta.



Obr. 39 Objímka upevněna na kombivrut pomocí navařené matice a spojená zašroubovaným šroubem.

Jak bylo již zmíněno, jedná se o jednoduché součásti vyráběné ve velkých sériích. Důraz tedy musí být kladen na vysokou produktivitu a efektivitu výrobního procesu. Tomu odpovídá využití technologie navařování matic k upevnění dalšího závitového prvku, kterým většina objímek disponuje. Jedná se o upevňovací matice sloužící k našroubování

na kombinovat nebo jiný závitový kotevní prvek instalovaný do stěny nebo stropu (obr. 39). Navařovací matice jsou vhodné pro automatizovanou výrobu. Zároveň poskytují také velmi dobré pevnostní charakteristiky spoje se základním materiálem (tab. 3). To je právě zde zvláště výhodné. Jedná se totiž o specifickou situaci, kdy je spoj závitového prvku se základním materiálem namáhán tahem, místo toho, aby byl do materiálu vtlačován, jak je obvyklé. Používanou alternativu k navařovacím maticím představují lisovací matice s nýťovacím krčkem.

3.4 Nábytek

Se závity v tenkých stěnách se lze setkat také na různých částech nábytku. Příkladem takových dílů mohou být výškově stavitelné nohy stolu. Stavitelnost je zajištěna samosvorností závitu po zašroubování na požadovanou délku. V případě použití připevňovací matice je třeba brát ohled na to, že spoj matice s materiálem je podobně jako v případě zmíněné navařené matice na objímce namáhán tahově. Na vybraném dílu jsou použity matice nýťovací s plochou hlavou (obr. 40a), které disponují vysokou odolností vůči vytlačení. Vzhledem k tomu, že se obvykle jedná o závity vyrobené ve stěnách uzavřených profilů s jednostranným přístupem, použití jiné upevňovací matice není možné. Alternativu představuje metoda Flowdrill (obr. 40b).



Obr. 40 Výškově stavitelné nohy stolu závitem vyrobeným:
a) nýťovací maticí, b) metodou Flowdrill [31].

Dalším příkladem jsou závity vyrobené na dílech skříňového pantu (obr. 41). Podobně jako v předchozím případě šroubové spoje umožňují stavitelnost. Jejich povolováním, či utahováním lze ovlivňovat polohu na pantu upevněných dvířek tak, aby spára mezi jednotlivými dvířky měla konstantní šířku po celé svojí délce.

Závity jsou vyrobeny v průtažích tvářených za studena. Na závit nejsou kladeny nároky na odolnost vůči zatížení a stačí tak pouze malé zvětšení délky zašroubování. Průtaž nastavuje tloušťku materiálu přibližně o 1 mm, což je více než hodnota stoupání použitého závitu M4.



Obr. 41 Díly skříňového pantu.

Jedná se o jednoduché mechanické zařízení vyráběné ve velkých sériích. Jednotlivé výlisky, ze kterých je pant sestaven, je tedy výhodné vyrábět na výrobních linkách tvářením plechových pásů lisy vybavenými sdruženými nástroji. V takovém případě, kdy jsou v jednotlivých krocích prostřihovány a ohýbány jednotlivé geometrie výlisků, pak výroba průtaže pro závit buď tvoří, nebo je součástí pouze jednoho takového kroku. Po vystřižení hotového výlisku z plechového pásu může bezprostředně navazovat závitování řezacím, nebo tvářecím závitníkem. Sdružený nástroj umožňuje výrobu velkého množství kusů v krátkém časovém úseku. Za lisem následující stanoviště, tedy například vrtačka, proto může být vybaveno vícevřetenovou hlavou s upnutými závitníky a vyrábět několik kusů na jeden zdvih. Technologie výroby závitu do průtaže se tak zejména z hlediska produktivity jeví jako vhodná.

4 POSOUZENÍ TECHNOLOGICKÝCH MOŽNOSTÍ

Každá ze zmíněných technologií výroby závitů do tenkých stěn má svá specifika, která předurčují její vhodnost k užití v dané situaci. Některé z technologií byly vyvinuty pro velice konkrétní aplikace. Ve většině případů ale převládá snaha vyvinout řešení s co možná nejširším využitím. Zejména oblasti využití jednotlivých připevňovacích závitových prvků se často překrývají. V případě, kdy je možné použít dvě nebo více řešení, je třeba se pro jedno rozhodnout na základě předností a nedostatků té či oné technologie také s ohledem na předcházející a následující technologické zpracování a na to, jakými stroji dílna disponuje. Je provedeno posouzení základních charakteristik jednotlivých technologií a jejich vzájemné porovnání.

4.1 Třískové obrábění a tváření závitů

Zásadním rozdílem mezi závity řezanými a tvářenými spočívá v přerušení vláken materiálu v řezaných závitech během obrábění. V závitech tvářených jsou vlákna materiálu během výroby naopak zhušťována, a tím je dosahováno lepších mechanických vlastností. Závity tvářené se navíc vyznačují vyšší přesností, trvanlivostí a kvalitou povrchu.

Výhody závitových fréz spočívají v absenci rizika zlomení nástroje v díře a možnost výroby závitu až ke dnu neprůchozí díry se v tenkých stěnách neuplatňují tolik jako v jiných aplikacích.

4.2 Porovnání ostatních technologií

Jak je patrné z předchozích rozborů, na trhu je nepřehledné množství technologií, kterými lze závit na tenkostěnném materiálu realizovat. Téměř všechny nacházejí velmi široké využití v mnoha průmyslových oblastech. Z toho lze soudit, že každá technologie má své přednosti, kvůli kterým se pro ni výrobci rozhodují. Zároveň však dodavatelé spojovacích prvků uvádějí příklady, kdy přechod firmy od jedné technologie k jiné vedl k milionovým úsporám [41]. Posouzení vhodnosti použití je tedy zejména před zahájením velkosériové výroby velmi důležité.

4.2.1 Obecné posouzení situace

Předtím, než padne volba na nejlevnější možné řešení, je vhodné nejprve zhodnotit specifika daného použití. Příklady některých situací, se kterými se lze při výrobě závitů v tenkostěnných dílech setkat, jsou uvedeny v tabulce 1 spolu se zhodnocením vhodnosti použití jednotlivých metod.

První specifický případ nastává, když je k tenkému materiálu umožněn přístup pouze z jedné strany. To představuje komplikaci, neboť při výrobě závitu je obvykle cílem, aby se po montáži nacházel na opačné straně materiálu, než utahovaný šroub.

Nejčastěji používané technologie, které toto umožňují, jsou metody Flowdrill a nýtování matic (tab. 1). Nýtovací matice mají mnohem širší využití. Jejich porovnání s metodou Flowdrill se však nabízí právě pro typický příklad jednostranného přístupu, a to pro stěnu uzavřeného profilu. Výhoda metody Flowdrill spočívá v tom, že závit je součástí základního materiálu a odpadají tak problémy s protáčením, jako je tomu u nýtovacích matic. Instalace nýtovacích matic je oproti tomu jednodušší proces z hlediska dostupnosti jak samotných matic, tak potřebných nástrojů a nároků na upnutí zejména již svařených konstrukcí nebo v prostředí mimo výrobní halu. Další výhodou matic je jejich snazší výměna v případě poškození závitu. Další srovnání viz kapitola 4.2.4.

Vrtáním lze vyrobit pouze kruhové díry. Na trhu jsou nástroje jako například pneumatické nůžky, kterými lze okraje vyvrtané díry ostříhnout do tvaru šestihranu [39]. Platí však, že jeden nástroj lze použít jen na jeden rozměr díry a tyto nůžky obvykle představují zbytečnou investici. Na okraji díry vzniká otřep, který většinou není nutné odstraňovat, ale ve větší míře může instalaci prvků komplikovat. Při vrtání nedochází k tak velkému zpevnění materiálu jako při vysekávání [26].

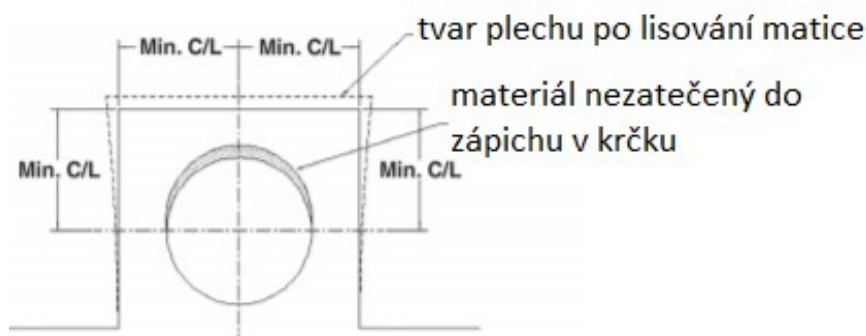
Problém, který může nastat při spojování dílů, je vyosení děr. Tehdy díry, například vlivem nepřesností výroby, neleží přímo nad sebou a šroub do závitu připevněného na spodním materiálu vstupuje pod úhlem. Aby nedošlo k poškození závitu, spojovací prvek musí být složen ze dvou částí, kdy jedna z nich (klec) je k materiálu pevně připojena a druhá (samotná matice) se v ní volně pohybuje. Většina typů matic je v tomto provedení dostupná (tabulka 1).

4.2.2 Parametry materiálu

Další věc, kterou je třeba vzít v úvahu, jsou parametry materiálu, na kterém má být závit vyroben. Zejména bývá důležitá jeho tloušťka a tvrdost, dále pak také hraje roli vzdálenost osy závitu od okraje. Přibližné hodnoty těchto parametrů závitů M4 a M8 pro jednotlivé technologie jsou uvedeny v tabulce 2.

Každá z porovnávaných technologií je omezena minimální tloušťkou plechu. Maximální hodnota tohoto parametru má vliv zejména na použitelnost technologie lisovacích nýtovacích a lisovacích lemovacích matic. Uvedené maximální hodnoty tloušťky plechu pro technologii Flowdrill jsou platné pro dlouhý typ vrtáku a jsou dostatečně vysoké, než aby omezovaly běžné výrobní nároky. Rozdíl hodnot minimální a maximální tloušťky materiálu matic nýtovacích se nazývá rozsah sevření. Jeho hodnota se podle typu matice může pohybovat od 1 mm až po cca 5 mm. Díky široké nabídce nýtovacích matic by podobně jako v případě metody Flowdrill neměla být jejich použitelnost zásadně ovlivněna tloušťkou materiálu.

Minimální vzdálenost osy závitu od okraje hraje zásadní roli při použití lisovacích matic. Výrobci udávají obvykle hodnotu vzdálenosti vztaženou pouze k jedné hraně. Pokud se matice nachází i v blízkosti dalších okrajů, které nejsou v průběhu lisování nijak podepřeny, hodnota minimální vzdálenosti se zvyšuje (obr. 42). Matice by také neměly být lisovány do materiálu před jeho ohýbáním, aby nedošlo k deformaci díry a vypadnutí matice. Při instalaci po ohýbání je pak třeba zajistit minimální vzdálenost od ohybu tak, aby byl zaručen dostatečný prostor pro lisovací nástroj [45]. Podobné platí také pro matice navařovací.



Obr. 42 Znárodnění důsledku instalace lisovací matice v blízkosti tří okrajů při dodržení pouze jednostranné minimální vzdálenosti od okraje [45].

Tab. 2 Hodnoty omezujících parametrů pro jednotlivé metody [31, 41, 42, 44, 47, 54].

Technologie	Průměr závitu	Tloušťka plechu [mm]		Minimální vzdálenost od okraje [mm]	Maximální tvrdost materiálu [HRB]
		Min	Max		
Flowdrill	M4	0,5	4,0	○	○
	M8	0,5	6,0		
Navařovací matice	M4	0,8	○	7	○
	M8	1,1	○	11	
Nýťovací matice	M4	0,5	5	○	○
	M8	0,7	7,9		
Lisovací matice standardní	M4	0,8	○	7	80*
	M8	1,4	○	10	
Lisovací matice nízké	M4	1,5	○	7	70*
Lisovací matice lemovací	M4	0,7	1,5	○	○
	M8	0,7	2,5	○	
Lisovací matice protahovací	M4	1,53	○	6,5	60
Lisovací matice nýťovací	M4	0,5	3,0	○	○
	M8	1	3,0		

○ Hodnoty nebyly zjištěny, nebo jimi není použití omezeno.

* Hodnoty platné pro matice z kalené uhlíkové oceli.

Tvrdost materiálu (příloha 1) ovlivňuje zásadně vhodnost použití všech druhů lisovacích matic, kromě lisovacích nýťovacích a lisovacích lemovacích. Pro ostatní typy platí, že materiál, ze kterého jsou vyrobeny, musí být tvrdší, než materiál do kterého jsou instalovány. Matice z hliníkových slitin mohou být lisovány do měkčích hliníkových plechů. Matice z kalené oceli pak mohou být instalovány také do ocelových plechů tvrdosti do 70–80 HRB. Vyrábí se však i varianty lisovacích matic z kalené korozivzdorné oceli pro lisování do plechů tvrdosti až 30 HRC (= 105 HRB) [54]. Všechny technologie výroby závětů, kromě protahovacích lisovacích matic do laminátových kompozitů, tedy v nějaké formě umožňují i instalaci do tvrdých plechů z korozivzdorné oceli.

4.2.3 Posouzení mechanických vlastností

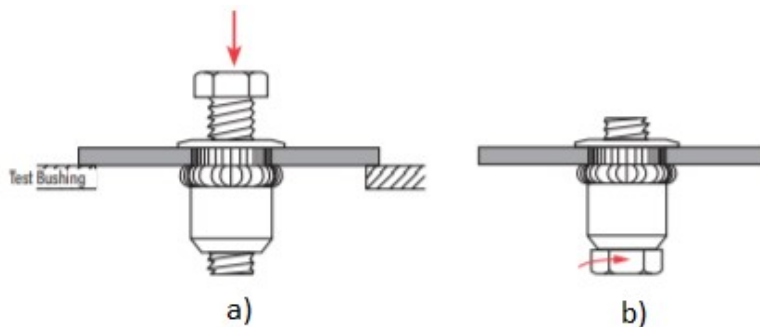
Často je velmi důležité, aby závit splňoval požadavky na odolnost vůči vnějšímu zatížení. Stejně jako u běžného šroubového spoje je i v případě závitů v tenkých stěnách obvykle třeba zajistit maximální zatížitelnost tak, aby minimální zkušební napětí matice bylo větší, než minimální pevnost v tahu šroubu [38].

Kromě lisovacích matic plochých, které mají doporučený utahovací moment pro závit M4 pouze 0,6 Nm [47], a nýtovacích rozpěrných a neoprenových matic s utahovacím momentem pro stejný závit 2 Nm [42], je naprostá většina ostatních spojovacích prvků obvykle určena pro použití v kombinaci se šrouby pevnostních tříd 8.8 i 9.8. Vyrábějí se však také speciální nýtovací nebo lisovací matice pro spojení šrouby třídy 12.9 [41, 54].

V případě technologie Flowdrill je pevnost závitu závislá na materiálu, jeho tloušťce a průměru závitu. Například závit M4 vytvořený metodou Flowdrill v plechu z konstrukční oceli S235 tloušťky 2 mm odolá přibližně 9 kN osově síly a 9 Nm krouticího momentu. To převyšuje hodnoty síly předpětí a utahovacího momentu šroubu třídy 12.9. Závit M8 vyrobený na stejné tloušťce materiálu už takových výsledků nedosahuje, ale ve 3 mm silném plechu jsou hodnoty 42 kN maximální osově síly a 50 Nm krouticího momentu opět relativně vysoké. Podle údajů uváděných výrobcem jsou tyto hodnoty pro závity vyrobené v korozivzdorné oceli ještě o 20–40 % vyšší [31].

Zajímavé srovnání technologií může být provedeno také na základě pevnosti spojení závitu s tenkým materiálem. Nejlepších výsledků je samozřejmě dosahováno při výrobě závitů do lemů nebo průtaží, neboť závit je neoddělitelnou součástí samotného materiálu. Různě pevné spoje je však umožněno vytvořit jednotlivými druhy upevňovacích matic.

Pevnost spojení lze hodnotit podle různých kritérií. Mezi ta základní patří odolnost proti protočení a vytlačení. Protočení nastává, když matice vlivem mezního krouticího momentu ztratí soudržnost s materiálem a vypadne z něj, nebo se v něm volně otáčí. K vytlačení dochází vlivem mezní síly působící proti směru síly vyvíjené při montáži. Princip testování těchto stavů je znázorněn na příkladu nýtovacích matic (obr. 43).



Obr. 43 Znázornění principů testování mezních stavů: a) vytlačení, b) protočení [39].

K protočení ani vytlačení matice z materiálu při správném postupu instalace teoreticky nedojde nikdy v případě kterékoliv technologie, neboť při utažení šroubu z opačné strany je matice do materiálu vtlačována silou předpětí. Například protočení by mělo nastávat pouze v případě chybné montáže, jako utahování přes závit nebo třeba použití příliš dlouhého šroubu v kombinaci s uzavřenou maticí.

V praxi však k podobným situacím dochází také například v důsledku špatné velikosti díry v materiálu. Rozměrová tolerance velikosti díry pro nýtovací matice je obvykle 0,15 mm, ale pevného spojení lze zejména při použití matice s větší plochou

hlavou a dostatečným rozsahem sevření docílit i při větších odchylkách. Přísnější nároky na přesnost rozměrů díry jsou kladeny při použití lisovacích matic, kdy mají tolerance hodnoty setin milimetru [42].

Kromě špatného rozměru díry může dosažení dostatečné pevnosti spoje komplikovat také například složité nastavování parametrů, jako je lisovací přitlačná síla a doba jejího působení při lisování a k tomu také nastavení proudu v případě navařování matic. Hodnoty udávané výrobcí jsou pouze orientační a je třeba je pro konkrétní případ nejprve otestovat.

Pro kontrolu správnosti provedené instalace závitového prvku výrobcí udávají také orientační hodnoty mezních sil vytlačení (F_V) a mezních momentů protočení (M_P) pro jednotlivé druhy matic. Tyto hodnoty jsou uvedeny pro plechy tloušťky 1,5–2 mm v tabulce 3 spolu s hodnotami sil působících při montáži (F_L), tj. lisovací síly v případě lisovacích a navařovacích matic a síly potřebné k roznýtování nýtovacích matic.

Tab. 3 Hodnoty charakteristických silových působení [37, 39, 42, 44, 47]

		Materiál plechu								
Technologie	Průměr závitu	Hliníková slitina			Nízkouhlíková ocel			Korozivzdorná ocel		
		F_L [kN]	F_V [kN]	M_P [Nm]	F_L [kN]	F_V [kN]	M_P [Nm]	F_L [kN]	F_V [kN]	M_P [Nm]
Navařovací matice	M4	-	-	-	2,8	4,0	5,0	3,0	4,2	5,1
	M8	-	-	-	4,9	5,5	50	5,3	5,5	50
Nýtovací matice kulaté*	M4	3,0	-	1,1	5,5	3,1	2,2	9,5	-	4,0
	M8	10	-	6,0	18	6,7	10	20	-	16
Nýtovací matice šestihranné*	M4	3,0	-	2,3	5,5	4,0	4,5	9,5	-	12,6
	M8	10	-	12,7	18	8,5	27	20	-	35
Lisovací matice standardní	M4	13	0,9	4,0	23	1,2	5,0	50	1,6	5,1
	M8	25	1,5	18,2	33	1,9	19	66	2,2	20
Lisovací matice nízké	M4	12	1,1	0,5	18	1,4	0,7	40	2,2	0,6
Lisovací matice lemovací	M4	-	-	-	30	3,8	5,2	-	-	-
	M8	-	-	-	90	16	36	-	-	-

* Hodnoty platné pro hliníkové matice v hliníkovém plechu, matice z uhlíkové oceli v ocelovém plechu a matice z korozivzdorné oceli v plechu z korozivzdorné oceli

- Hodnoty nebyly zjištěny, nebo se matice pro dané použití nevyrábí

Kromě zmíněných kontrolních účelů mohou hodnoty v tabulce 3 sloužit také k porovnání náchylnosti k porušení spojů jednotlivých prvků se základním materiálem. Nízká odolnost vůči oběma posuzovaným mezním stavům je charakteristická pro ploché lisovací matice. Ty ale nejsou určeny pro velká zatížení, jak vyplývá z již zmíněného nízkého utahovacího momentu.

Protáčení představuje největší problém v případě kulatých nýtovacích matic. Uvedené hodnoty jsou platné pro kulaté matice s rýhovaným dříkem. Výrazného zlepšení může být dosaženo použitím šestihranných matic. Nejlepší výsledky poskytují v tomto ohledu zejména větší průměry navařovacích matic, ale také lisovací matice lemovací.

Nejvyšší odolností proti vytlačení disponují lemovací lisovací matice. Jedná se však o specifickou situaci, kdy síla vytlačení, opačná k síle lisovací, má stejný směr jako síla předpětí utahovaného šroubu. Jejich další výhodou je možnost jejich použití do velmi tenkých plechů nejen ocelových, pro které jsou v tabulce 3 uvedené hodnoty, ale také hliníkových či korozivzdorných. Hodnoty nýtovacích a navařovacích matic jsou srovnatelné a relativně vysoké ve srovnání s obvyčejnými lisovacími maticemi, u kterých vytlačení nebo samovolné vypadávání představuje největší problém.

Při instalaci závitového prvku je velmi důležité správně zvolit velikost montážní síly. Nejen její hodnota, ale i smysl působení se u jednotlivých technologií liší. Při lisování matic může její vysoká hodnota základní materiál nežádoucím způsobem zdeformovat, proto je třeba dbát na jeho řádné podložení. Menší hodnoty má přitlačná síla matic navařovacích. Pro srovnání, velikost axiální síly při termálním vrtání se v 1,5 mm silném plechu pohybuje okolo 2 kN [27]. Při nýtování matic deformace základního materiálu obvykle nehrozí, protože síla působí především na dřík matice. Základní materiál je pouze stlačován. V případě lisovacích matic nabývá síla výrazně vyšších hodnot při montáži do korozivzdorných plechů, zvětšení vytlačovací síly a momentu protočení tomu však není úměrné.

4.2.4 Ekonomické hledisko

V neposlední řadě je třeba z použitelných technologií volit také na základě jejich ekonomické výhodnosti. Výrazně se liší zejména pořizovací ceny speciálního vybavení potřebného pro jednotlivé metody (tab. 4). Ceny samotných matic navařovacích, nýtovacích i lisovacích jsou u obvyčejných typů srovnatelné a pohybují se v hodnotách do 2 Kč/kus. Speciální typy mohou být i několiknásobně dražší.

Pro automatizovanou velkosériovou výrobu jsou vhodné technologie navařování a lisování matic. Pořizovací ceny strojů se zásobníkem a automatickým podavačem prvků jsou pro lis i svařovací lis srovnatelné. Pohybují se v řádech statisíců, přičemž závisí na speciálním vybavení a funkcích stroje, například pro detekci různých druhů chyb. Typicky to může být detekce špatného umístění, nebo nepřítomnosti matice předtím než je zahájeno lisování. Postup montáže těchto druhů je podobný. V obou případech je obrobek stejným způsobem umístěn dírou na matici, příp. spodní elektrodu. To může být prováděno pracovníkem, nebo robotickým ramenem. Strojní časy následného lisování/svařování obvykle nepřesahují 1 sekundu. Zefektivnění výroby však lze dosáhnout použitím lisovacích matic v situacích, které umožňují jejich instalaci současně s tvářením ostatních geometrií dílu pomocí kombinovaného lisovníku, nebo použitím speciálních matic, pro jejichž instalaci není třeba předpřipravená díra. Tu si během lisování prostřihují samy [55].

Porovnání ekonomické výhodnosti nýtování matic a výroby závitů pomocí termálního vrtání bylo již provedeno v [56] s výsledky: 80 % úspory nákladů na materiál,

50 % úspory mzdových nákladů ve prospěch termálního vrtání. Při stanovení celkového času výroby závitu nýtováním matice však bylo uvažováno relativně zdlouhavé vrtání pro výrobu předpřipravené díry a její odjehlení, které není obvykle nezbytné. Pokud je polotovar výrobku před výrobou závitu zpracováván například pálením laserem nebo vysekáváním na CNC stroji, výroba díry pro nýtovací matici by celkové strojní časy laseru a CNC vysekávacího stroje prodloužila o zlomek sekundy. Samotné nýtování matic pak může probíhat kdykoliv, kdy to bude v dalším průběhu výrobního procesu nejvýhodnější, například až po svaření konstrukce. Nevýhodou metody termálního vrtání pak může být zvyšování nákladů na vedlejší práci, zejména v případech, kdy je díl do vrtačky zvlášť upínán pouze za účelem výroby závitů. Avšak v případech, kdy je na jedno upnutí polotovaru vyrobeno velké množství závitů, projeví se pozitivně vysoká životnost nástroje Flowdrill až 10 000 děr. Z toho plyne vynikající návratnost relativně nízkých počátečních investic a vysoké úspory nákladů na materiál oproti pořizování nýtovacích matic.

Tab. 4 Přibližné pořizovací ceny materiálu a vybavení pro jednotlivé technologie [57].

Potřebné vybavení	Cena [Kč]	Potřebné vybavení	Cena [Kč]
Flowdrill		Navařovací matice	
Základní sada (1 vrták)*	13 000	Kus M4; M8	0,3; 0,7
Sada (5 vrtáků)**	17 000	Ruční bodovací kleště	15 000
Vrták M8	2 000	Bodovací sloupová svářečka	100 000
Vrták do hliníku	8 000	Zásobník pro automatické podávání	70 000
Mazací pasta	1 000	-	-
Nýtovací matice		Lisovací matice	
Kus M4; M8	0,9; 1,8	Kus M4; M8	0,8; 1,6
Ruční nýtovací kleště	500	Hydraulický lis s podavačem	200 000
Pákové nýtovací kleště	1 500	-	-
Nástavec na vrtačku	2 000	-	-
Pneumatická pistole	30 000	-	-
*Sada obsahuje držák s chladicí turbínou, vrták se zvoleným průměrem a příslušný tvářecí závitník a další vybavení, jako prostředky k mazání, klíče k upínání...			
**Sada obsahuje pouze vrtáky a příslušné tvářecí závitníky			

5 DISKUZE

Existuje mnoho kritérií, podle kterých lze nepřehledné množství všech různých metod a jejich variant porovnávat. Nejdůležitější je rozhodovat se na základě specifik a požadavků konkrétních situací. Některé z těch typických jsou v této bakalářské práci rozebrány. Přednosti a nedostatky jednotlivých metod jsou na těchto situacích závislé.

Nelze se vždy řídit pouze údaji poskytovanými výrobcí. Jedná se o orientační hodnoty dosažitelné za ideálních podmínek a je vhodné je před zahájením výrobního procesu otestovat právě pro konkrétní využití. Z toho vyplývá další podstatné kritérium, které lze při volbě metody zohlednit. Je to praktická zkušenost. Z té nevychází dobře závit vyrobený přímo do plechů nižší tvrdosti, zejména u spojů často rozebíraných a obtížně přístupných (kapitola 3.1). Doporučit nelze ani kulaté nýtovací matice. Jejich nespornou výhodou je jednoduchost použití, zároveň však hrozí riziko jejich protočení. Proto zvláště v situacích, jako jsou například montáže blatníkových lemů, nášlapů, přitlačných křídel a dalších prvků do karoserií různých typů automobilů, kdy každá chyba může nést závažné negativní estetické následky, je lepší se jejich použití vyhnout.

Během pracovního procesu je při použití kterékoliv technologie třeba dbát na dodržování zásad bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. To platí zvláště při obsluze lisů a stojanových bodovacích svařovacích lisů. Z tohoto hlediska představují nevýhodu navařovacích matic oproti lisovacím zdraví škodlivé výpary vznikající při svařování. Zároveň je nutné zohledňovat zásady ochrany životního prostředí, například používáním recyklovatelných materiálů.

ZÁVĚR

Z porovnání závitníků vychází lépe závitníky tvářecí. Technologie tváření umožňuje výrobu kvalitnějších závitů. Vhodné je jejich použití v lemovaných dírách, kde je obzvláště nežádoucí úběr materiálu z tenké stěny.

Z rešerše upevňovacích matic je zřejmá velká variabilita jejich provedení a možností použití. Pro kusovou výrobu se nejlépe hodí matice nýtovací a samořezné šrouby, případně matice nacvakávací. Pro automatizovanou sériovou výrobu jsou díky krátkým strojním časům svých montáží nejčastěji používány lisovací a navařovací matice. Výhodou navařovacích matic je vysoká pevnost spoje s materiálem. Srovnatelných výsledků je v tomto ohledu dosahováno také použitím lisovacích lemovacích matic a šestihranných nýtovacích matic. Naopak nejnižší hodnoty silového působení mezních stavů vytlačení či protočení jsou typické pro standardní lisovací matice a kulaté nýtovací matice, které jsou vhodné pro v tomto ohledu nenáročné spoje.

Pro výrobu závitů do stěn uzavřených profilů lze použít nýtovací matice, nebo metodu termálního vrtání, tzv. Flowdrill, a následné tváření závitu do vzniklého lemu. Do lemu tvářené závity představují ve většině materiálů spolehlivější variantu. Problémem nýtovacích matic je jejich nízká odolnost vůči protáčení, což v případě termálně vyvrtaného lemu nehrozí. Další výhodou technologie Flowdrill je relativně nízká pořizovací cena speciálního vrtáku a jeho vysoká životnost. Při správném využití těchto vlastností je výroba závitů do termálně vrtaných lemů výhodná také po stránce ekonomické.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
3. MACHEK, Václav. *Zpracování tenkých plechů*. Praha: SNTL, 1983, 266 s.
4. ROHAN, René. *Hutní materiál: příručka pro dodavatele a odběratele válcované oceli, ocelových trubek, tažené oceli a ocelových tenkostěnných profilů*. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977.
5. SOLIL, P. *Technologie pro ohýbání tenkostěnné měděné trubky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 45 s., 4s příloh. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.
6. LENFELD, Petr. Technologie zpracování plastů. In: *Technická univerzita v Liberci: Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#012
7. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery: Termoplasty - základní druhy* [online]. 2016 [cit. 2019-05-19]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/18.html>
8. Kompozitní materiál. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kompozit%C3%AD_materi%C3%A1l
9. TRČKA, R. *Obrábění součásti z kompozitního materiálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 38 s a 3 s přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.
10. MIKULA, Martin. *Kompozitní materiály na bázi uhlíkových vláken*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 63 s. Vedoucí práce Ing. Karel Němec, Ph.D.
11. Vláknové kompozity. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vl%C3%A1knov%C3%A9_kompozity
12. Laminát s vláknovou výztuží. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lamin%C3%A1t_s_vl%C3%A1knovou_v%C3%BDztu%C5%BE%C3%AD
13. SEDLÁČEK, Jan. Problémy při obrábění kompozitních materiálů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 25.04.2007 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/problemy-pri-obrabeni-kompozitnich-materialu.html>
14. Sendvič (laminát). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sendvi%C4%8D_\(lamin%C3%A1t\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sendvi%C4%8D_(lamin%C3%A1t))

15. Voština (konstrukce). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Vo%C5%A1tina_\(konstrukce\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vo%C5%A1tina_(konstrukce))
16. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část* [online]. 2004 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
17. Výroba závitů - UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA. In: *Sandvik Coromant - manufacturing tools & machining solutions* [online]. Sandvik Coromant [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/cs-cz/c-2920-031.pdf>
18. Nástroje pro frézování kruhovou interpolací. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-frezovani-kruhovou-interpolaci.html>
19. Nové sdružené nástroje pro frézování a závitování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, 16.07.2004 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nove-sdruzene-nastroje-pro-frezovani-a-zavitovani.html>
20. STOKES, Nikki. Výběr správného závitníku. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014, 13.05.2014 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyber-spravneho-zavitniku.html>
21. Výroba vnitřních závitů tvářením. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, 11.04.2001 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrnich-zavitu-tvarenim.html>
22. Srovnání řezacích a tvářecích závitníků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2017, 10.05.2017 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/srovnani-rezacich-a-tvarecich-zavitniku.html>
23. KALIVODA, Milan. Termální závitování v profilech rámů kabin traktorů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 19.11.2008 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/termalni-zavitovani-v-profilech-ramu-kabin-traktoru%20.html>
24. LAŠTOVICA Petr: *Vytváření tažených lemů na plechu z vysokopevnostní oceli*. Brno, 2014. 55s, 6 výkresů, 8 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
25. *Metal forming handbook*. New York: Springer-Verlag, c1998. ISBN 35-406-1185-1.
26. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření: část II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4406-5.

27. BOOPATHI, M., S. SHANKAR, S. MANIKANDAKUMAR a R. RAMESH. Experimental Investigation of Friction Drilling on Brass, Aluminium and Stainless Steel. *Procedia Engineering* [online]. 2013, 64, 1219-1226 [cit. 2019-05-19]. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.09.201. ISSN 18777058. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705813017153>
28. Termální vrtání - progresivní metoda tváření otvorů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 11.12.2002 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/termalni-vrtani-progresivni-metoda-tvareni-otvoru.html>
29. EL-BAHLOUL, Sara A., Hazem E. EL-SHOUBAGY, Ahmed M. EL-BAHLOUL a Tawfik T. EL-MIDANY. Experimental and Thermo-Mechanical Modeling Optimization of Thermal Friction Drilling for AISI 304 Stainless steel. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* [online]. 2018, 20, 84-92 [cit. 2019-05-19]. DOI: 10.1016/j.cirpj.2017.10.001. ISSN 17555817. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1755581717300512>
30. NOVÁK, Zdeněk. Beztržisková výroba přesných otvorů a závitů tváření. *Kavon* [online]. KAVON CZ, c2017 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.kavon.cz/tvareni.php>
31. Flowdrill: Efficient and Chipless Joining. In: *Flowdrill* [online]. Flowdrill, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.flowdrill.com/media/wysiwyg/pdf/flowdrill_folder_EN_-_DEF_-_HighRes_-_A4.pdf
32. *Flowdrill* [online]. Flowdrill, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.flowdrill.com/eu_en/
33. Odporové svařování, bodové svařování, švové svařování. *Svářecí technika Schinkmann.cz* [online]. Schinkmann, c1991-2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-svarovani>
34. Odporové výstupkové svařování. *Svářecí technika Schinkmann.cz* [online]. Schinkmann, c1991-2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-vystupkove-svarovani>
35. Fasteners for the Sheet Metal Industry. *TR Fastenings* [online]. Trifast, 2016 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://trfastenings.com/industries/sheet-metal>
36. Odporové svařování. *ESHOP ARTWELD* [online]. Artweld, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.esvarovani.cz/eshop/odporove-svarovani>
37. Self-locating projection weld nuts. In: *Penn Engineering* [online]. Penn Engineering, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.pemnet.com/fastening_products/pdf/wndata.pdf
38. GSCHIEDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN 80-85920-76-X.
39. Catalog Atlas Blind Threaded Inserts. In: *Penn Engineering* [online]. Penn Engineering, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.pemnet.com/fastening_products/pdf/aedata.pdf

40. Nitovacie matice. In: *IMP KONTAKT, spol. s r.o. Speciální strojírenské součástky, lisovací prvky* [online]. IMP KONTAKT, c2009-2018 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.impkontakt.sk/download/imp_sk_nitovacie_matice_2013.pdf
41. Rivet Nut Insert Catalog. In: *Sherex Fastening solutions* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.sherex.com/wp-content/uploads/Rivet-Nut-Catalog_2.19-MP-high-res.pdf
42. Nýtovací a lisovací systémy. In: *Heyman* [online]. Heyman [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.heyman.cz/media/useruploads/files/cz/katalogy/nem-kt-2012-cz.pdf>
43. Well nut. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Well_nut#cite_ref-2
44. Blind rivet nuts and studs. In: *Böllhoff* [online]. Wilhelm Böllhoff, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://media.boellhoff.com/files/pdf1/rivkle-en.pdf>
45. The Self-clinching Fastener Handbook. In: *Penn Engineering* [online]. Penn Engineering, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.pemnet.com/fastening_products/pdf/Handbook.pdf
46. Captive nut. *Böllhoff* [online]. Böllhoff, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/us-en/products-and-services/special-fasteners/captive-nut-kapti-nut.php>
47. *Northern Precision Ltd - A specialist global manufacturer, stockist & distributor of fasteners for sheet metal...* [online]. Northern Precision [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.npfasteners.com/>
48. JOINING TECHNOLOGIES: Clipping systems. *ARaymond - Industrial - Your innovative partner for industrial assembly solution* [online]. ARaymond, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.araymond-industrial.com/en/technologies/clipping-systems>
49. Threaded Inserts and Wire Inserts. *STANLEY Engineered Fastening Precision Fastening and Assembly Solutions* [online]. STANLEY Engineered Fastening, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.stanleyengineeredfastening.com/fasteners/inserts>
50. Composite Press Fit Inserts. *Composite Aircraft Fasteners, Composite Clip Nuts* [online]. Marketing Masters, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.clipnuts.com/products/press-fit-inserts>
51. Flow Drilling Screw Technology. *Automotive fastener manufacturer, Automotive Fastener Supplier - Semblex* [online]. Semblex, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.semblex.com/technologies/fds/>
52. Self-tapping screw. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Self-tapping_screw
53. *Flowdrill Applications* [online]. In: . Minden jog fenntartva! Tiger-Tools, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://tigertools.hu/PDF/Flowdrill/Flowdrill_peldak_eng_small.pdf

54. Self-clinching Nuts. In: *Penn Engineering* [online]. Penn Engineering, c2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.pemnet.com/fastening_products/pdf/cldata.pdf
55. Pias Self Piercing PNC Nuts. *Northern Precision Ltd - A specialist global manufacturer, stockist & distributor of fasteners for sheet metal...* [online]. Northern Precision [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.npfasteners.com/arnoldshinjo/pias-pnc.htm>
56. HOŘAVA, L. *Tvářené a obráběné závity na výrobcích z plechu ve firmě European Data Project s.r.o.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 43 s 5 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.
57. *Alibaba.com* [online]. Alibaba.com, c1999-2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.alibaba.com/>
58. *ALFUN Metal Service Center* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/>
59. PLECHY-BRONZ. *Bronz, broznové tyče, trubky, plechy, řezání bronzu* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.bronz.cz/sortiment/plechy/plechy-bronz/>
60. Měděné plechy. *Elektroinstalační materiál a elektromateriál, Q-Elektrik a.s.* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.q-elektrik.cz/nezelezne-kovy/medene-plechy>
61. SLITINY HOŘČÍKU. In: *ČVUT Fakulta strojní* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/Slitiny_Mg.pdf
62. Materiálový list ABS. In: *Specialista v plastech a Váš partner pro dodávky plastových polotovarů a výrobků, AK Plast s.r.o.* [online]. AK Plast, c1995-2018 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: http://www.akplast.cz/admin/files/ck/files/TechData/ABS_mat_list.pdf
63. SERCEL, D. *Materiály pro výrobu pružin.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
ABS	-	akrylonitrilbutadienstyren, termoplast
CMT	-	cold metal transfer, metoda svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře za nízkého přísunu tepla
CNC	-	computer numerical control
D	[mm]	potřebný průměr předvrtané díry pro tvářený závit
D_{jmen}	[mm]	jmenovitý průměr závitu
F_L	[kN]	síla vyvíjená při montáži
F_V	[kN]	mezní síla vytlačení
HRB	-	tvrdost podle Rockwella, indenter je kalená kulička
HRC	-	tvrdost podle Rockwella, indenter je diamantový kužel
M_p	[Nm]	mezní moment protočení
P	[mm]	stoupání závitu
PA	-	polyamid, termoplast
PC	-	polykarbonát, termoplast
PE	-	polyethylen, termoplast
PMMA	-	polymetylmetakrylát, termoplast
POM	-	polyoximetylén, termoplast
PP	-	polypropylen, termoplast
PVC	-	polyvinylchlorid, termoplast
SMD	-	surface mount device, součástka určená pro povrchovou montáž pájením do desek plošných spojů

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Příklady plechových materiálů a jejich vlastnosti
- Příloha 2 Materiálový list ABS
- Příloha 3 Srovnání typů těsnění pro nýtovací matice.
- Příloha 4 Příklady ocelí na pružiny a pružné součásti.

PŘÍLOHA 1 (1 ZE 4)

Příklady plechových materiálů a jejich vlastnosti [58].

Oceřové plechy a pásy valcované za tepla

Mechanické vlastnosti^{a)}:

OOznačení podľa EN 10027-1 a CR 10260	Minimálna medza klzu ReH, a) MPa b) Menovitá hrúbka mm	Pevnosť ťahu Rm, a) MPa b) Menovitá hrúbka mm	
	≤ 16	< 3	≥ 3 ≤ 100
S235JR	235	360 - 510	360 - 510
S235JO	235	360 - 510	360 - 510
S235J2	235	360 - 510	360 - 510
S355JR	355	510 - 680	470 - 630
S355JO	355	510 - 680	470 - 630
S355J2	355	510 - 680	470 - 630
S355K2	355	510 - 680	470 - 630

a) Hodnoty v tabuľke sa vzťahujú na priečne skúšobné telesá (t) pre plechy a širokú oceľ šířky > 600 mm. Pre všetky ďalšie výrobky sa vzťahujú na pozdĺžne skúšobné telesá (l).

b) 1 MPa = 1 N/mm².

Oceřové plechy a pásy valcované za studena

Mechanické vlastnosti:

Značka ocele podľa EN	Mechanické vlastnosti		
	Dolná medza klzu – Re max. MPa	Medza pevnosti – Rm min. / max. MPa	Ťažnosť – A80 min. %
DC01	280	270 - 410	28
DC03	240	270 - 370	34
DC04	220	270 - 350	37
DC05	200	270 - 330	39

PŘÍLOHA 1 (2 ZE 4)

Příklady plechových materiálů a jejich vlastnosti [58].

Koróziivzdorná oceľ

Mechanické vlastnosti:

Akost	Pevnosť	Medza skľuzu		Ťažnosť	Zváranie	Ťažnosť Tvárnenie	Koroziívna odolnosť	max. T použitie
	Rm (Mpa)	RP0,1 (Mpa)	RP0,2 (Mpa)	A 50 (50%)				
1.4016	450-600		280	20	2	2	2	100°C
1.4301	540-750	260	230	45	3	5	3	400°C
1.4306	520-670	250	220	45	5	4	4	650°C
1.4307	520-700	250	220	45	4	5	4	400°C
1.4401	530-680	270	240	40	4	3	5	500°C
1.4404	530-680	270	240	40	5	4	5	400°C
1.4435	550-700	270	240	40	5	4	5	400°C
1.4436	550-700	270	240	40	5	4	5	400°C
1.4512	380-560		220	25	3	3	3	100°C
1.4541	520-720	250	220	40	5	3	4	400°C
1.4571	540-690	270	240	40	5	3	5	450°C
1.4828	500-750		230	22	4	2	4	1000°C
1.4833	500-750		210	26	4	2	4	1050°C

PŘÍLOHA 1 (3 ZE 4)

Příklady plechových materiálů a jejich vlastnosti [58].

Hliníkové plechy a pásy

Označení a vlastnosti

Označení podľa EN	Hutnícke označenie	ČSN	DIN	Korozívná odolnosť	Vhodnosť k eloxovaniu 3)	Zvariteľnosť
EN AW 1050	AL99,5	424005	3.0255	veľmi dobrá	áno	veľmi dobrá
EN AW 3003	AlMn1Cu		3.0517	veľmi dobrá	nie	veľmi dobrá
EN AW 3103	AlMn1	424432	3.0515	veľmi dobrá	nie	veľmi dobrá
EN AW 3004	AlMn1Mg1		3.0526	veľmi dobrá	nie	veľmi dobrá
EN AW 3005	AlMn1Mg0,5		3.0525	veľmi dobrá	nie	veľmi dobrá
EN AW 3105	AlMn0,5Mg0,5		3.0505	veľmi dobrá	nie	veľmi dobrá
EN AW 5005	AlMg1		3.3315	zvlášť proti morskej vode	áno	veľmi dobrá
EN AW 5049	AlMg2Mn0,8		3.3527	zvlášť proti morskej vode	áno	veľmi dobrá
EN AW 5052	AlMg2,5		3.3523	zvlášť proti morskej vode	áno	veľmi dobrá
EN AW 5251	AlMg2Mn0,3	424412	3.3525	zvlášť proti morskej vode	áno	veľmi dobrá
EN AW 5754	AlMg3	424413	3.3535	zvlášť proti morskej vode	áno	veľmi dobrá
EN AW 5083	AlMg4,5Mn0,7	424415	3.3547	zvlášť proti morskej vode	nie	veľmi dobrá
EN AW 6082	AlMgSi1Mn	424400	3.2315	zvlášť proti morskej vode	áno	veľmi dobrá
EN AW 7020	AlZn4,5Mg1	424441	3.4335	nízka	nie	nevhodná
EN AW 7022	AlZn5Mg3Cu		3.4345	nízka	nie	nevhodná
EN AW 7075	AlZn5,5MgCu	424222	3.4365	nízka	nie	nevhodná

PŘÍLOHA 1 (4 ZE 4)

Příklady plechových materiálů a jejich vlastnosti [45, 59, 60, 61].

Měděné plechy

Slitina	Stav materiálu	Mez pevnosti(MPa)	Mez kluzu(MPa)	Prodloužení(%)	Tvrdość(HV)
Cu	R200	220 - 250	100 max	-	40 - 65
	R220	220 - 260	140 max	33	40 - 65
	H040	-	-	-	40 - 65
	R240	240 - 300	180 min	8	-
	H060	-	-	-	65 - 95
	R290	290 - 360	250 min	4	-
	H090	-	-	-	90 - 100
	R360	360 min	320 min	2	-
	H110	-	-	-	110 min

PLECHY-BRONZ

slitina podle EN	CW453K	CC483K	CC493K	CC333G	CW452K
ČSN	423018	423123	423137	423047	423016
chem. Složení	CuSn8	CuSn12	CuSn7ZnPb	CuAl10Ni5Fe5	CuSn6
měrná hmotnost g/cm3	8,6	8,6	8,6	7,6	8,6
pevnost v tahu Rm standartní					
hodnota	440MPa	300MPa	260MPa	650MPa	440MPa
tvrdost podle Brinella (HB)	120HB	90HB	70HB	150HB	120HB

Slitiny Mg-Al-Zn (AZ)

slitina	složení	polotovary	Rm MPa	Rp0,2 MPa	tažnost %
AZ31B-F	3,0Al-1,0Zn	tyče, profily	260	200	15
AZ61A-F	6,5Al-1,0Zn	tyče, profily	310	230	16
AZ80A-T5	8,5Al-0,5Zn	tyče, profily	380	240	7
AZ82A-T5	8,5Al-0,5Zn	tyče, profily	380	275	7
AZ31B-H24	3,0Al-1,0Zn	plechy, desky	290	220	15

Typical Hardness of Sheet Materials

Sheet Material	Sheet Hardness
5052-H32/34 Aluminum	HRB 15-30 / HB
Cold-rolled Steel	HRB 40-75 / HB
6061-T6 Aluminum	HRB 50-55 / HB 89-96
304 Stainless Steel (Annealed)	HRB 80+ / HB 150+
HSLA Steel (does not follow typical rules)	HRB 80-85 / HB 150-169






PŘÍLOHA 2

Materiálový list ABS vlastnosti [62].

			ABS
Vlastnosti použitých materiálů ¹⁾	Norma	Jednotka	natur
I. Všeobecné vlastnosti			
1. Hustota (ρ)	ISO 1183	g/cm ³	1,04
2a. Nasákavost (voda)	ISO 62	%	0,4
2b. Nasákavost (vzdušná vlhkost)	ISO 62	%	0,1
3a. Trvalá pracovní teplota (bez většího mech. namáhání) - horní mezní hodnota	UL 746B	°C	70
3b. Trvalá pracovní teplota (bez většího mech. namáhání) - dolní mezní hodnota		°C	-50
II. Mechanické vlastnosti			
1. Tahové napětí na hranici průtažnosti (σ _S)	ISO 527	MPa	37
2. Tažnost (ε _S)	ISO 527	%	7
3. Mez pevnosti v tahu (σ _R)	ISO 527	MPa	33
4. Protažení při přetržení (ε _R)	ISO 527	%	8
5. Rázová houževnatost (α _n)	ISO 179	kJ/m ²	333
6. Vrubová houževnatost (α _k)	ISO 179	kJ/m ²	37
7. Tvrdost (H _k) dle Rockwella	ISO 2039	MPa	73/R 105
8. Shore-D	ISO 868	-	70
9. Pevnost v ohybu (σ _{B 3,5%})	ISO 178	MPa	67
10. Modul pružnosti (E _t)	ISO 527	MPa	2210
III. Tepelné vlastnosti ⁹⁾			
1. Teplota měknutí dle VICATA VST/B/50 VST/A/50	ISO 306	°C	103
		°C	-
2. Teplotní tvarová stálost HDT/B HDT/A	ISO 75	°C	100
		°C	88
3. Koeficient délkové roztažnosti (α)	ISO 11359	K ⁻¹ x 10 ⁻⁴	0,8
4. Tepelná vodivost při 20°C (λ)	ISO 22007-4	W/(m x K)	-
5. Teplota skelného přechodu (T _g)	DIN EN ISO 3146	°C	145
6. Teplota tání (T _m)	DIN EN ISO 3146	°C	145
IV. Elektrické vlastnosti			
1. Specifický vnitřní odpor (ρ _D) ⁸⁾	IEC 60093	Ω x cm	-
2. Povrchový odpor (R _o) ⁸⁾	IEC 60093	Ω	≥ 10 ¹³
3. Permittivita při 1 Mhz (ε _R) ⁹⁾	IEC 60250		-
4. Dieľ. ztrátový činitel při 1 Mhz (tanδ) ⁹⁾	IEC 60250		-
5. Průrazná pevnost ⁹⁾	IEC 60243-1	kV/mm	-
6. Izolační odpor ⁹⁾	IEC 60112	V	-
V. Ostatní vlastnosti			
1. Možnost lepení			+
2. Fyziologická nezávadnost ^{5) 9)}	EEC		-
	FDA		+
3a. Hořlavost/chování při požáru ⁹⁾	UL 94	-	HB
3b. Limitní kyslíkové číslo (LOI) ⁹⁾	ASTM D2863	%	20
4. Odolnost proti UV ^{6) 9)}			-

PŘÍLOHA 3

Srovnání typů těsnění pro nýťovací matice [41].

Seal	Description	Performance Results	Best Fit Applications
Seal2 	<ul style="list-style-type: none"> • For standard large flange rivet nuts • Prevents fluid or air from passing through head • Resistant to automotive fluids (oils, fuels, antifreeze) • Ideal replacement for PVC foam 	<ul style="list-style-type: none"> • Withstands temperatures up to 300F (150C) • No leakage up to 160 psi of backside pressure 	<ul style="list-style-type: none"> • Where resistance to automotive fluids is necessary
Plastisol 	<ul style="list-style-type: none"> • For standard large flange rivet nuts • PVC particles suspended in plasticizer • Cost effective option for sealing out dirt, dust, and water 	<ul style="list-style-type: none"> • Not recommended in applications where contact with automotive fluids is possible 	<ul style="list-style-type: none"> • General purpose sealing
Silicone 	<ul style="list-style-type: none"> • For standard large flange rivet nuts • Compatible with plastics 	<ul style="list-style-type: none"> • Withstands temperatures up to 425F (218C) • Can pass through paint bake for up to 30 minutes with no reduction in sealing performance 	<ul style="list-style-type: none"> • Where part must withstand a finish baking process
Dejong O-Ring Seal 	<ul style="list-style-type: none"> • For HX Tubtara® parts • O-ring made of Nitrile Rubber (NBR) • Offset groove for metal to metal contact, providing better spin out resistance 	<ul style="list-style-type: none"> • Watertight up to 145 PSI (per IP68) • Resistant to hydraulic fluids, organic oils, gasoline, kerosene, and water under 175F (80C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Marine, automotive, heavy truck, and other harsh environments where a watertight seal is required
Locsert® 	<ul style="list-style-type: none"> • For standard rivet nuts • Adhesive preapplied under the head • During installation, the adhesive bonds the rivet nut to the base material • Increases spin out performance 	<ul style="list-style-type: none"> • Has been tested to increase spin out performance on average 87% 	<ul style="list-style-type: none"> • Where a round hole is the only option - not able to stamp a hex hole • Increased spin out performance for a round rivet nut

PŘÍLOHA 4

Příklady ocelí na pružiny a pružné součásti [63].

Značka	Chemické složení v %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni max.	Cu max.	V	P max.	S max.
12 041	0,37-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	max. 0,25	0,30	0,30		0,035	0,035
12 060	0,52-0,60	0,50-0,80	0,17-0,37	max. 0,25	0,30	0,30		0,040	0,040
12 061	0,57-0,65	0,50-0,80	0,17-0,37	max. 0,25	0,30	0,30		0,040	0,040
12 071	0,60-0,70	0,60-0,80	max. 0,35					0,035	0,035
12 081	0,70-0,80	0,40-0,65	max. 0,35					0,035	0,035
12 090	0,80-0,90	0,20-0,60	0,10-0,30					0,030	0,035